

PLURALIDAD Y CONSENSO

Litio en México:
reflexiones hacia su desarrollo



PLURALIDADyCONSENSO

Es una publicación trimestral del Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República

Publicación a cargo de la Dirección General de Difusión y Publicaciones

Presidente del IBD

Senador Manuel Añorve Baños

Secretario Técnico del IBD

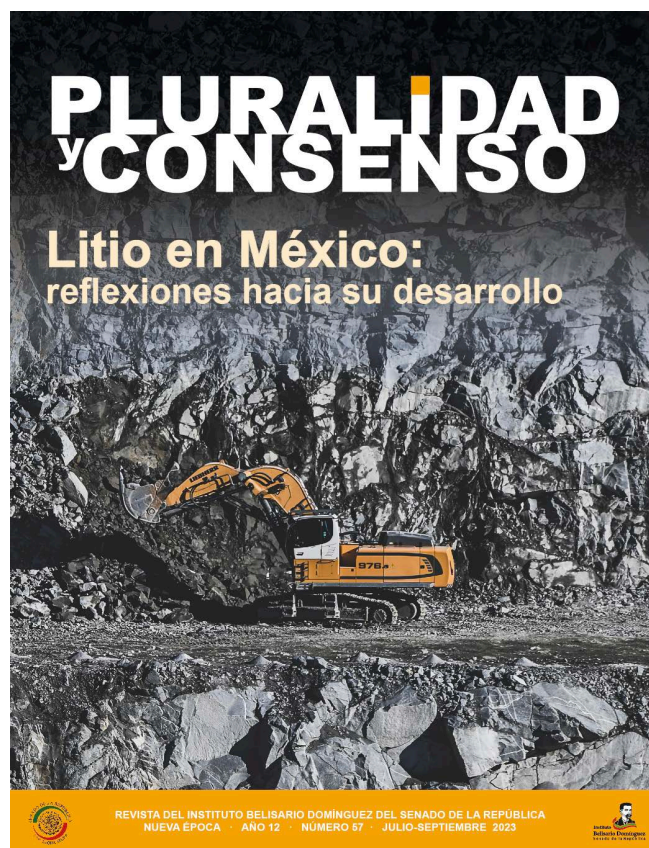
Rodrigo Ávila Barreiro

Coordinación editorial

Gerardo Cruz Reyes

Fotografía de la portada

Freepick.es



PluralidadyConsenso, Año 12, N.º 57, julio-septiembre 2023 es una publicación del Senado de la República a través del Instituto Belisario Domínguez, con domicilio en Donceles No. 14, Colonia Centro, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06020, México D.F., Tel. 55 57224824, www.ibd.senado.gob.mx; @IBDSenado, IBDSenado; pluralidadyconsenso.ibd@senado.gob.mx

Reserva de Derecho al uso exclusivo 04-2014-111909344900-102 otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. ISSN 2395-8138. Certificado de Licitud de Título y Contenido 16413 otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Editada y distribuida por el Senado de la República a través del Instituto Belisario Domínguez.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no reflejan, necesariamente, los puntos de vista del Instituto Belisario Domínguez o del Senado de la República.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Senado de la República a través del Instituto Belisario Domínguez.

CONTENIDO

El litio en el contexto internacional

Margarita E. Gutiérrez Ruiz	
Daniel E. Amaro Ramírez	05

Tratamiento con litio del Trastorno Bipolar en México

Xóchitl Ayala González	20
------------------------------	----

Más allá de la extracción: el litio y otras áreas de oportunidad para la industria nacional

Juan Pablo Aguirre Quezada	
Erick Arias Vargas	30

La siguiente frontera: litio, regulación y el Estado mexicano

Óscar Ocampo	43
--------------------	----

El litio, mineral estratégico para la transición energética

Napoleón Gómez Urrutia	53
------------------------------	----

Perspectivas del litio en el altiplano potosino-zacatecano: impacto socioeconómico y ambiental en tierras ejidales

Elena del Rosario Patiño Flota	
Ezra Uriel Haro Patiño	64

Lo que todos queremos saber sobre la situación del litio en México	
Margarita E. Gutiérrez Ruiz	
José Luz González Chávez	
Francisco M. Romero	75
Análisis comparativo del rol estatal en el Triángulo del litio	
Mario Campa	87
¿Por qué la necesidad de enfrentar el reto del calentamiento global incentiva la demanda mundial de litio?	
Jaime Arturo Del Río Monges	
Ligia Aleida Aburto Martínez	99

El litio en el contexto internacional



Margarita E. Gutiérrez Ruiz

Doctora en Ciencias de la Tierra. Responsable del Laboratorio de Biogeoquímica Ambiental (LABQA) de la UNAM. Miembro del S.N.I (I). Su línea de investigación es Diagnóstico y manejo de sistemas residuos-suelo-agua contaminados / ginny@unam.mx.



Daniel E. Amaro Ramírez

Obtuvo el grado de licenciatura en Química de Alimentos en la Facultad de Química, UNAM, actualmente es candidato a la Maestría en Ingeniería Ambiental por la UNAM. Se ha desarrollado profesionalmente en la química ambiental, colaborando en proyectos de investigación contratada en el Laboratorio de Biogeoquímica Ambiental (LABQA) de la UNAM / dany14494@comunidad.unam.mx.

5

Resumen

Este trabajo analiza y sintetiza la información internacional disponible sobre el litio, desde su origen, yacimientos, hasta procesos mineros de asociación, producción, demanda y otros temas esenciales. Las fuentes consultadas incluyen desde artículos científicos hasta noticias periódicas, buscando resumir el estado actual del conocimiento en los aspectos que se consideran de mayor interés para el público en general.

Palabras clave: Litio, origen litio, obtención litio, yacimientos litio, producción de litio, demanda-precio litio.

Abstract

This work analyzes and synthesizes the available international information on lithium: origin, deposits, association mining processes, production, demand, and other essential topics. The sources include all documents, from scientific articles to news, that were consulted to summarize the current state of knowledge in aspects of most significant interest to a general audience.

Keywords: Lithium, lithium minerals, lithium deposits, lithium production, lithium demand-price.

Me presento, soy el litio, “la nueva estrella de los metales”

Soy un metal relativamente abundante en la corteza terrestre. Mi nombre proviene del griego *lithos*, que significa *pedra*, pues ya hace más de 200 años fui el único miembro de mi familia que fue encontrado en rocas. En 1817 me aislaron como metal utilizando electrólisis, pues no es fácil que, cuando yo formo parte de un mineral, acepte un electrón y me transforme en metal. Mi familia química es la de los metales alcalinos (Familia 1 de la tabla periódica de los elementos químicos) por lo que soy primo hermano del sodio y el potasio, metales muy conocidos y abundantes. Sin embargo, me distingo de ellos pues tengo propiedades que me hacen especial y muy útil, especialmente porque soy blando y muy ligero, y a relativas bajas temperaturas me vuelvo líquido. Además, reacciono fácilmente, inclusive me combino con el nitrógeno que se considera un gas prácticamente inerte, y presento altas conductividades térmica y eléctrica, baja viscosidad y muy baja densidad. Asimismo, tengo el radio atómico más pequeño y el potencial electroquímico más alto de mi familia (Zhao *et al.*, 2023). Estas propiedades que quizá a muchos no les digan demasiado, son las que me han convertido en los últimos años en un elemento estratégico y sumamente utilizado, por lo que mi demanda ha ido en continuo aumento (Dessemond *et al.*, 2019, en Zhao *et al.*, 2023). Me utilizan en la industria aeroespacial y para la fabricación de cerámica, lubricantes, aditivo de otros metales y, especialmente, para la producción de baterías, que es mi principal

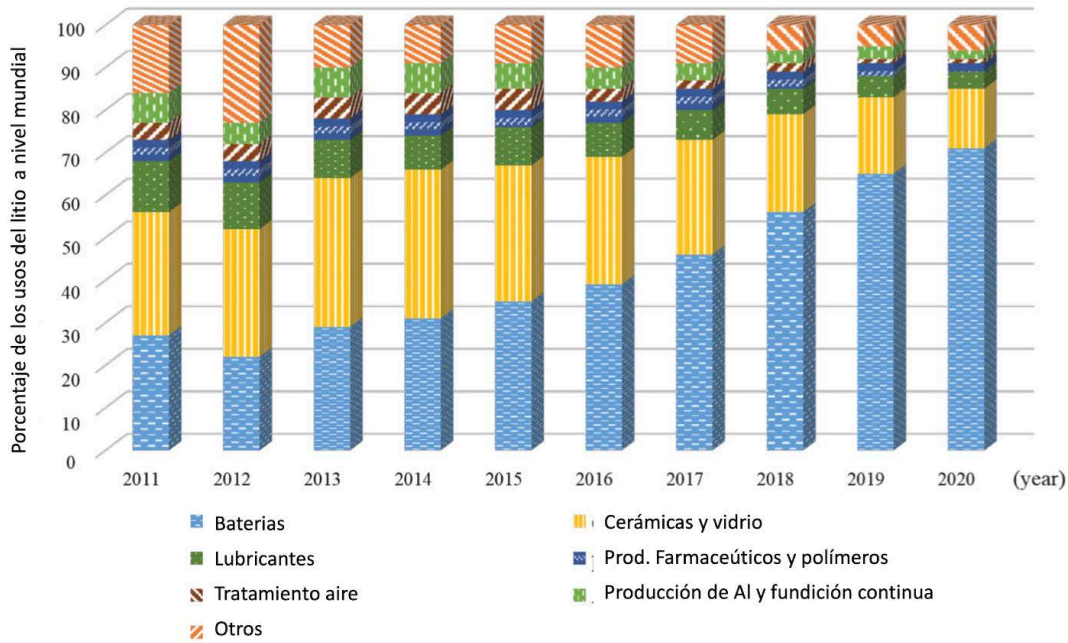
aplicación y está en constante aumento (Figura 1). Actualmente, me están encontrando otros usos. Por ejemplo, estoy siendo considerado “como un material importante para evaluar el desarrollo de los reactores de fusión nuclear”, pues mientras el deuterio —que es esencial— se halla en forma abundante en el agua de mar, el tritio es escaso en la naturaleza y se piensa que es más factible obtenerlo bombardeando el isotopo litio-6 con neutrones. Si este hipotético uso aún en etapa de investigación y desarrollo llega a aplicarse, mi demanda puede aumentar aún más, posiblemente a un cuarto de mi producción mundial.

¿De dónde provengo y en dónde me encuentro?

Llegué con el magma de las entrañas de la Tierra a la corteza terrestre y dado que me concentré en el líquido final de la cristalización, formé rocas que se llaman pegmatitas, en donde me encuentro mezclado con otros minerales.¹ También me concentré relativamente en salmueras que se forman a partir del agua extremadamente caliente del subsuelo que, al circular a través de rocas, me disolvió junto con otros elementos. Estas aguas llegan a cuencas cerradas e impermeables y bajo un clima árido con temperaturas altas, se evaporan, concentrándome en las llamadas salmueras de litio. Hay salmueras que pueden tener diferente origen, no solamente natural sino generadas por actividades antropogénicas, como las existen-

1 El litio en las pegmatitas está presente, por lo general, en el mineral espodumena $[\text{LiAlSi}_2\text{O}_6]$. También puede encontrarse en los minerales petalita ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$), lepidolita $[\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2]$, ambligonita $[\text{LiAl}(\text{PO}_4)\text{F}]$, y eucryptita $[\text{LiAlSiO}_4]$ (Barbosa *et al.*, 2020).

Figura 1. Porcentaje anual de los principales usos del litio a nivel mundial, del periodo 2011-2020



Fuente: USGS tomado de Zhao *et al.*, 2023.

tes en campos petroleros, o en procesos geotérmicos. Además, me encuentro en ciertos minerales de las rocas graníticas que se formaron muy lentamente y, recientemente, también en las arcillas asociadas a antiguos depósitos lacustres.² Los salares y lagos salinos son “depósitos que representan alrededor del 66% de los recursos disponibles a nivel mundial y corresponden, principalmente, a Chile, Argentina, China y el Tíbet³ (Figura 2). Sin embargo, la explotación de la roca-dura (pematitas) sigue siendo muy importante ya que es donde me recuperan en mayor cantidad. Sin embargo, hay otras fuentes de donde también me encuentro

y que hasta ahora no han sido ampliamente utilizadas, como las arcillas,⁴ e inclusive también estoy presente en cenizas volcánicas y los océanos.⁵ Y si bien, históricamente, no ha habido mucho interés en estos nuevos recursos, mi alta demanda está cambiando este panorama. Actualmente se desarrollan varios proyectos para obtenerme a partir de arcillas y el número de estudios para recuperarme del agua de mar es muy alta, lo que hace prever que, en un próximo futuro, estos recursos pueden ser, tan o más importantes que los actuales.

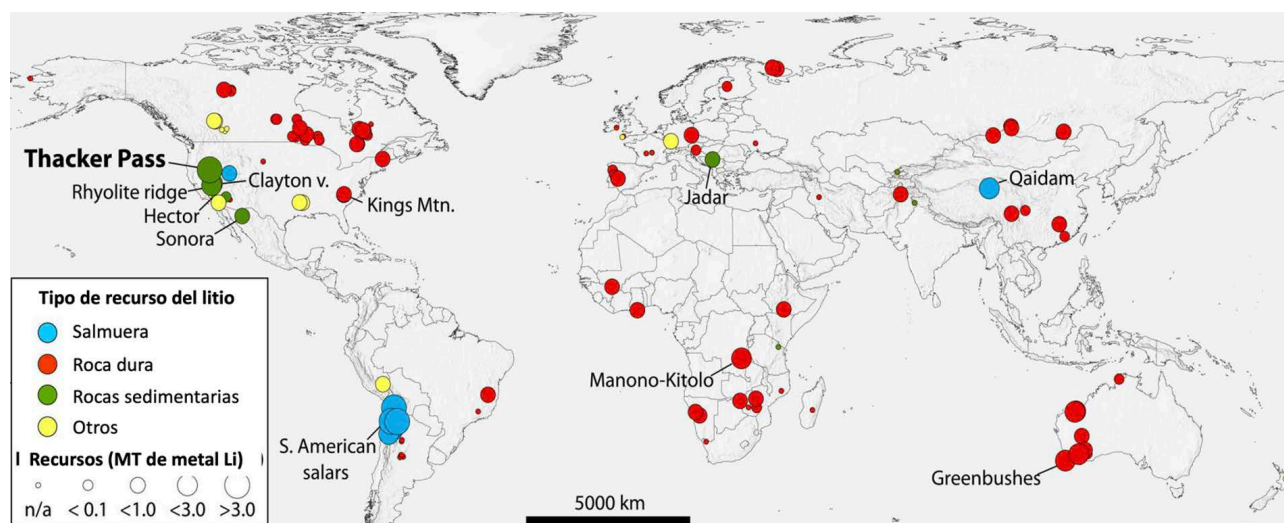
2 <https://roseannechambers.com/where-lithium-lurks/> (Consulta: 20 septiembre 2023).

3 https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_litio_2014.pdf (Consulta: 22 septiembre 2023).

4 $(\text{Na}_{0.4}\text{Mg}_{2.7}\text{Li}_{0.3}\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$

5 Información sobre los diferentes tipos de depósito de litio en el mundo: <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-deposit-types-brine-pegmatite-and-sedimentary/> (Consulta: 20 septiembre 2023).

Figura 2. Mapa de los tipos de recursos del litio y su ubicación



Fuente: Benson *et al.*, 2023.

8

Actualmente, ¿cómo me recuperan?

Salmueras

La composición de las salmueras varía considerablemente, así como el tipo y cantidad de las otras especies químicas presentes, como potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, boro, bromo, cloro, nitratos, cloruros, sulfatos y carbonatos, por lo cual cada una debe ser tratada en forma particular. Sin embargo, la mayor parte de los procesos de la salmuera incluyen las siguientes operaciones: *a)* concentración mediante la evaporación generalmente, por insolación, *b)* precipitación secuencial de los elementos que forman la solución en función de su grado de saturación —un orden típico de precipitación de compuestos es cloruro de sodio, cloruro de potasio, cloruro de potasio y magnesio⁶ hidrata-

do, cloruro de magnesio hidratado y cloruro de litio—, *c)* eliminación de impurezas, lo que se realiza una vez que se obtiene una concentración de aproximadamente un 6%; por ejemplo, el contenido de calcio y magnesio se reduce mediante la adición de ceniza de soda (sosa) y, en una segunda operación, se precipita el magnesio agregando cal apagada, y finalmente el boro se elimina con éster de alcohol isopropílico por extracción por solventes y es recuperado por destilación, *d)* recuperación de litio. En la última fase, se me recupera mediante mi precipitación en forma de carbonato o por formación del hidróxido mediante la adición de hidróxido de calcio. Cuando me obtienen en forma de carbonato, mi pureza es cercana al 99.5%, lo cual cumple ampliamente con los requerimientos del mercado que exige un mínimo de 99.1%, y puedo ser comercializado como cristales o grá-

6 En las piscinas con mayor concentración de litio precipita carnalita de litio ($\text{LiCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), y con el objeto de recuperar el litio que contiene, es repulpeada y lavada con una solución saturada en

cloruro de magnesio, pero no saturada en cloruro de litio.

nulos. El carbonato puede ser utilizado no solamente para formar el hidróxido, de mayor valor, sino también el cloruro de alta pureza que se emplea para transformarme a metal puro por electrólisis (Gutiérrez-Parra, 2018).

En la bibliografía se puede acceder a información sobre muchos otros procesos análogos.⁷ Entre ellos, los que se basan en procesos DLE (extracción directa del litio por adsorción o intercambio). Estas tecnologías presentan, según sus proponentes, muchas ventajas respecto a las tradicionales, pues eliminan el impacto de las lagunas de evaporación, reducen los tiempos de producción y aumentan el rendimiento.⁸ A continuación, se presentan los tipos de métodos más comunes utilizados en los procesos de extracción directa (Wu *et al.*, 2019).

- **Adsorción:** Se utiliza un adsorbente selectivo, que en contacto con la solución se carga de cationes preferentemente de Li^+ . Posteriormente, se lava el adsorbente con cloruro de litio diluido para eliminar a otros iones que se adsorbieron y constituyen impurezas y, posteriormente, se lleva a cabo un lavado para mi desorción y concentración en solución. El más común es el hidroxiclورو doble de litio y aluminio en capas. Este método no requiere uso de ácidos ni otros productos químicos, por lo que es más amable con el ambiente que los actuales.
- **Intercambio iónico:** Estos sistemas separan los contaminantes iónicos de la solución mediante un proceso fisicoquí-

7 <https://es.sttsystems.com/industries/lithium-extraction/> (Consulta: 20 septiembre 2023).

8 <https://www.mining-technology.com/features/lithium-price-challenges/> (Consulta: 21 septiembre 2023).

mico donde los iones no deseados son reemplazados por otros iones de la misma carga eléctrica. Mi recuperación mediante intercambio iónico puede lograrse con un simple ajuste del pH, temperatura o la composición de la corriente. Los investigadores creen que este método puede recuperarme con una eficiencia de aproximadamente el 90%.

- **Extracción por solvente:** este proceso implica capturarme utilizando un disolvente que me sea afín y no sea soluble en agua, de manera que una vez que me contiene se puede separar del resto (matriz). Finalmente, con un cambio de pH me libero del disolvente y paso a la solución acuosa, pudiéndome convertir en metal mediante un proceso electrolítico.

Roca dura

Respecto a las rocas “existen alrededor de 145 especies minerales, pero sólo unas pocas tienen valor económico, pues existen algunas limitantes para la explotación de cualquier yacimiento. Por ejemplo, algunos depósitos que contienen minerales en cantidades importantes son insuficientes para sustentar la operación de una mina. En otros casos, las cantidades de rocas son altas, pero mi concentración es muy baja, o me encuentro en depósitos que contienen “otros elementos perjudiciales para los procesos minero-metalúrgicos (magnesio, sulfato, etc.), o bien los yacimientos se encuentran situados en áreas remotas, lo que hace que mi extracción y procesamiento no sea económicamente rentable, por ejemplo, lo que sucede en el Tíbet (Pistilli, 2023).

La espodumena, que es quizá el más importante de mis minerales, es de origen pegmatítico, es decir, proviene, como ya se comentó, del enfriamiento del magma cristalizado en el interior de la corteza terrestre.⁹ El minado en estos depósitos se puede realizar a cielo abierto o subterráneo, utilizando las típicas operaciones de concentración que se utilizan para muchos otros minerales. No obstante, este tipo de procesos son más costosos que la explotación de salares, pero siguen siendo competitivos por mi concentración en las rocas, además de que se pueden recuperar otros elementos presentes. Cuando me obtienen del mineral espodumena, se requiere llevar a cabo una molienda y, pos-

9 <https://www.asturnatura.com/mineral/espodumena/3194.html> (Consulta: 22 septiembre 2023).

teriormente, un proceso de concentración por flotación diferencial, a manera de obtener un material en el cual me encuentre en una concentración del 2.5 al 3.2%. El proceso requiere de un paso previo de limpieza mediante la adición de varias sustancias químicas, seguido por la adición de colectores aniónicos que se pegan a las partículas del mineral que me contiene, permitiendo que floten por su carácter hidrofóbico y así poder concentrarlas ya separadas del resto de los materiales sin valor comercial. El concentrado es tratado para producir diferentes sales en las que puedo ser comercializado, como son hidróxidos, carbonatos o cloruros.¹⁰

10 <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/procesamiento-de-espodumeno-para-extraer-litio/> (Consulta: 22 septiembre 2023).

Fotografía: Jason D



Rocas sedimentarias

Los depósitos en rocas sedimentarias (arcilla o rocas evaporitas lacustres), representan el 8% de los recursos mundiales conocidos, los cuales se forman por acumulación de sedimentos, formados a partir de partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua. La arcilla retiene agua y es muy fina, plástica y moldeable, a diferencia de la arena. Una gran parte de los lectores ha estado en contacto con arcillas, aunque no lo hayan considerado. El suelo contiene arcillas y seguramente en su infancia jugaron mezclándolo con agua para hacer figuras. Unos suelos lo permitían mientras que otros se deshacían en las manos. Los que resistían contenían mucha arcilla y ahora pueden asociar sus experiencias infantiles con las propiedades. Los principales minerales arcillosos en los que me encuentro tienen una estructura relativamente simple. Ocupo espacios formados entre las capas de la arcilla, siendo el tipo más común la llamada hectorita ($\text{NaO}_3(\text{Mg},\text{Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$). Por cierto, es una fórmula complicada, pero lo importante es ver que la arcilla está formada por sílice y oxígeno que forman capas y se unen a otros elementos, entre ellos yo, que quedó atrapado en la red. La complejidad para lograr liberarme puede variar, dependiendo de la estructura química específica de la red y de los enlaces con los cuales quedo retenido.

Desde los años ochenta del siglo XX, ya se conocen procesos para recuperarme de las arcillas. Actualmente hay diferentes métodos de extracción, pero básicamente todos los procesos llevan a cabo un lixiviado para liberarme de la arcilla. Cabe mencionar, que ciertos estudios mineralógicos del USGS (United States Geological Survey) mostraron que, en arcillas

de Oregón, me distribuyo uniformemente, por lo que no es posible concentrarme a través de una separación por tamaño. Sin embargo, es importante considerar que cada caso puede ser diferente. Por ahora, como se comentó, el proceso de concentración se basa en una lixiviación que, generalmente, se facilita a través de un proceso de tostación pues el calentamiento facilita mi liberación. En algunos métodos, la tostación se lleva a cabo a relativamente baja temperatura y en otros a más alta. Los agentes para lixiviar son diversos, los más efectivos son ácidos; especialmente es utilizado el ácido sulfúrico, pero también funcionan soluciones de sulfato férrico o de sales de un elemento alcalino, como el sodio o el potasio, e inclusive otros como el calcio o magnesio, pues estos elementos me sustituyen en la red. Una vez que paso a la solución, como sigo mezclado con muchos otros iones es necesario separarme, lo cual se puede lograr con precipitaciones sucesivas y eliminación de impurezas, o por extracción con solventes. Los productos finales pueden ser carbonatos o hidróxidos, e inclusive me pueden producir como metal, cuando el paso final es un proceso electrolítico o de reducción química. Con la acidificación se puede lograr un consumo de energía relativamente bajo y una alta eficiencia de recuperación, logrando un excelente rendimiento, además de condiciones de producción estables y una operación sencilla. Los hornos pueden contar con un sistema inalámbrico de control de la temperatura y un sistema inteligente para el control del resto de las variables, lo cual permite el ajuste de las condiciones del horno en tiempo real. La tasa de conversión es alta, la acidificación es completa y la tasa de lixiviación y recuperación son un 15% superior al de

otros procesos. Por ejemplo, la corporación Zn utiliza como carbonato, una mezcla de arcilla, piedra caliza y yeso, y lleva a cabo la tostación a 900 °C para que yo forme sulfato soluble en agua. El agua utilizada para la lixiviación de la calcina que me contiene, como sulfatos junto con potasio, sodio y una pequeña cantidad de calcio, se recicla y se concentran por evaporación, permitiendo que los carbonatos recuperados precipiten como carbonatos de calcio, y me separe de ellos por filtración. Luego se calienta la solución concentrada hasta ebullición y se añade Na_2CO_3 para que yo precipite como carbonato.¹¹ El “Bureau of Mines” (Lien R.H. 1985) propuso un proceso que básicamente consta de la adición de carbonato de calcio (calcita) y sulfato de calcio (yeso), y la preparación de aglomerados pequeños llamados pellets, los cuales se calientan a 1 000°C durante una hora en horno rotatorio (calcinación). Luego se lleva a cabo la lixiviación con agua, la cual se evapora, y cuando está más concentrada se adiciona carbonato de sodio (sosa) para que precipite como carbonato. Este proceso tiene la desventaja de gastar mucha energía durante la calcinación en el horno, mientras que en los salares la concentración se lleva a cabo con energía solar. En México, el Dr. Roberto Pérez Garibay y su equipo del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav-IPN) en Saltillo, México, desarrollaron un método similar al de lixiviado de cobre, que se basa en un sistema de lixiviación de partículas de arcilla menores a 20 μm , realizando mi separación de la solución mediante un proceso de extracción con solventes y, finalmente, mi transformación a metal por

electrólisis. El agua se recicla y se propone el uso de energía solar. El proceso de lixiviación en arcillas con moscovita y sanidina está patentado (MX2018003804A) y establece condiciones que aumentan la eficiencia del proceso.

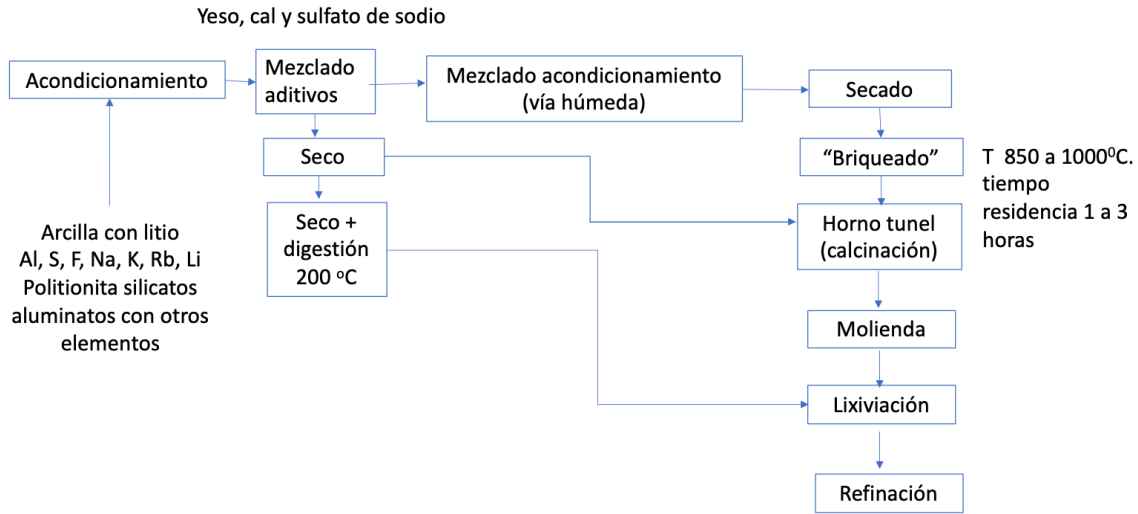
La empresa Bacanora en sus inicios propuso un proceso para explotar las arcillas de Sonora. Sin embargo, no se sabe si va a ser utilizado por la empresa Ganfeng, dueña actual de la concesión, y líder en el sector de baterías y que cuenta con muchas tecnologías ya desarrolladas. Esta empresa china informa que su proceso es amigable con el ambiente, lo cual no puede ser aplicado a la tecnología de Bacanora, la cual básicamente consta de preparación del mineral (con un porcentaje aproximado de 0.5% m/m) y adición de reactivos CaSO_4 y Na_2SO_4 , secado, preparación de briquetas, calcinación (800-950 °C), lixiviación y refinación. El diagrama de proceso que se elaboró, con base en comunicación personal, se muestra en la Figura 3.

El proceso Bacanora tiene muchas analogías con el del Bureau of Mines y otros publicados en la literatura internacional, aunque se presentan algunas diferencias fundamentales. En el proceso del Bureau of Mines no se adiciona sulfato de sodio y se separa el litio como carbonato, adicionando carbonato de sodio, además no elaboran briquetas para la calcinación. La temperatura del horno es mayor y los tiempos de residencia parecen menores. En ninguno de los dos procesos se proponen sistemas de pre-concentración del litio, y el costo ambiental de alcanzar las temperaturas es muy alto.

Otro proceso para recuperarme de las arcillas es el de intercambio iónico, en el cual se emplea una solución al 15% de sulfato férrico para lixiviar a 90 °C de la arcilla, la cual se ha sujetado antes a un proceso de calcinación a

11 <https://www.zkcomp.com/solution/lithium-production-line.html> (Consulta: 20 septiembre 2023).

Figura 3. Diagrama simplificado del proceso de propuesto por Bacanora para producción de Li₂CO₃.



600 °C. La recuperación es del 73.6% con 180 minutos de reacción (Zhu *et al.*, 2021). En otros métodos se recuperan por lixiviación con sulfatos de sodio y calcio, con un tostado a 875 °C durante una hora (Vieceli *et al.*, 2017). Una patente china utiliza sales de metales alcalinos adicionando ácido sulfúrico. Básicamente, muelen la muestra y la mezclan con agua ácida para obtener una suspensión que se seca a 100-150 °C, se enfría y se somete nuevamente a molienda y calentamiento a 200-300 °C para producir un Clinker que se introduce al agua y se calienta, adicionando una sal de metal alcalino y la solución enriquecida se recupera por centrifugación. La eficiencia es alta y ahorran energía, por las bajas temperaturas utilizadas (Patente CN107267754B).

Existen otras muchas propuestas, algunas muy originales, como la que propone el uso de residuos. Con piedra caliza y residuos de la producción de ácido bórico, como fuente de sulfatos se lleva a cabo la extracción y concentración (Büyükburç, 2006).

Estos métodos y, en general muchos de los reportados, parecen muy prometedores a pequeña escala, y algunos ya cuentan con estudios de viabilidad preliminares, con costos de producción muy competitivos, lo que sugiere que las arcillas pueden, de hecho, tener un buen futuro. Sin embargo, sólo el tiempo dirá con certeza si estos proyectos tendrán éxito y podrán cumplir con sus estimaciones de bajo costo y competir bajo las cambiantes condiciones del mercado. Pero, si tienen éxito pueden ofrecer varias ventajas: especialmente que no requieren como los salares de un largo proceso de evaporación. Por ejemplo, los recientes resultados del valor actual neto [VAN] de US\$ 2.6 000 millones para el proyecto de arcilla de Thacker Pass de Lithium Americas (LAC) ha actuado como un excelente catalizador para renovar el interés en los proyectos de recuperación a partir de arcillas (Trend Investing on July 10, 2018). Sin embargo, salvo algunas excepciones, es claro que se requiere mejorar más los procesos, especialmente deben prestar más atención a la

seguridad del proceso y la reutilización de los residuos (Zhao *et al.*, 2023).

Reservas, producción y consumo

Reservas

Brian W. Jaskula, especialista en materias primas minerales del USGS, explica que la reserva mundial es “la cantidad disponible en forma inmediata y que económicamente sea recuperable mediante los métodos de extracción actuales”. Sin embargo, esta cantidad debe considerar la continua exploración en crecimiento y el número mayor de fuentes disponibles. Los recursos que me contienen identificados en Estados Unidos (de salmueras continentales, arcillas, salmueras geotérmicas, hectorita, salmueras de yacimientos petrolíferos y pegmatitas) se valoran en 12 millones de toneladas. Los recursos identificados en otros países conforman los 86 millones de toneladas restantes. Las reservas en millones de toneladas métricas en los principales países son: Bolivia (21), Argentina (20), Chile (11), Australia (7.9), China (6.8), Alemania (3.2), Kinshasa (3), Canadá (2.9), México (1.7) y el resto se distribuyen en forma descendente en República Checa, Serbia, Rusia, Perú, Mali, Brasil, Zimbabue, España, Portugal, Namibia, Ghana, Finlandia, Austria y Kazajstán.

De las fuentes actualmente no utilizadas y, por lo tanto, no consideradas en las reservas, la más importante es el agua de mar. Muchos investigadores centran su atención en los 2 600 000 millones de toneladas de agua de mar en las que me encuentro, junto con otros elementos de mi familia. La cantidad estimada en los océanos varía dependiendo de las fuentes,

desde 5 000 veces más grande que en tierra firme (Jacoby, 2021; Prieto, 2021), a unas 15 000 veces e inclusive 57 000 veces mayor (HOUCT, 2020). Pero en cualquier caso los océanos son una reserva potencial muy importante, pero el problema es que estoy increíblemente diluido, alrededor de 180 microgramos por litro (Jacoby, 2021). Y, además, hay que considerar que en el agua de mar no estoy solo, ni siquiera soy el más común, mi presencia queda eclipsada por otros iones, incluido el sodio que, como es mi familiar, se parece mucho y está presente en los océanos en una concentración 60 000 veces más alta (Jacoby, 2021). Sin embargo, si llego a ser recuperado del mar se eliminará el cuello de botella que conforma la desigual distribución de recursos convencionales en todo el mundo, además, hay países que tienen yacimientos que actualmente no son explotados, pues se encuentran en regiones poco accesibles, por lo que estas nuevas fuentes pueden ser para ellos, una gran alternativa económica (Miatto *et al.*, 2020).

Producción y consumo

El país que me produce en mayor cantidad es Australia, en donde me recuperan de roca-dura (pegmatitas) de cuatro minas (Tabla 1¹²). Le siguen en volúmenes de producción, dos salares de Chile y Argentina, y dos de China donde también se explota la roca-dura (United States Geological Survey, 2022) (Liu, *et al.*, 2019 en Zhao *et al.*, 2023) (Tabla 1). En el salar de Atacama en Chile la producción es muy alta, y hay otros sitios en explotación muy interesantes, inclusive ya me producen como carbonato de alta pureza

12 <https://elements.visualcapitalist.com/visualizing-the-worlds-largest-lithium-producers/>(Consulta: 25 septiembre 2023).

a partir de salmuera producida por la descarga de una planta de energía geotérmica que opera

en el Mar de Saltón, en California, mediante ósmosis inversa.

Tabla 1. Datos de los países más importantes productores de litio para el año 2022, indicando tipo de yacimiento, así como la cantidad generada y los porcentajes.

País	Tipo de yacimiento	Toneladas métricas	Porcentaje
Australia	Roca dura	61 000	46.9
Chile	Salmuera	39 000	30
China	Principalmente salmuera	19 000	14.6
Argentina	Salmuera	6 200	4.8
Brasil	Roca dura	2 200	1.7
Otros		2 600	2
	TOTAL	130 000	

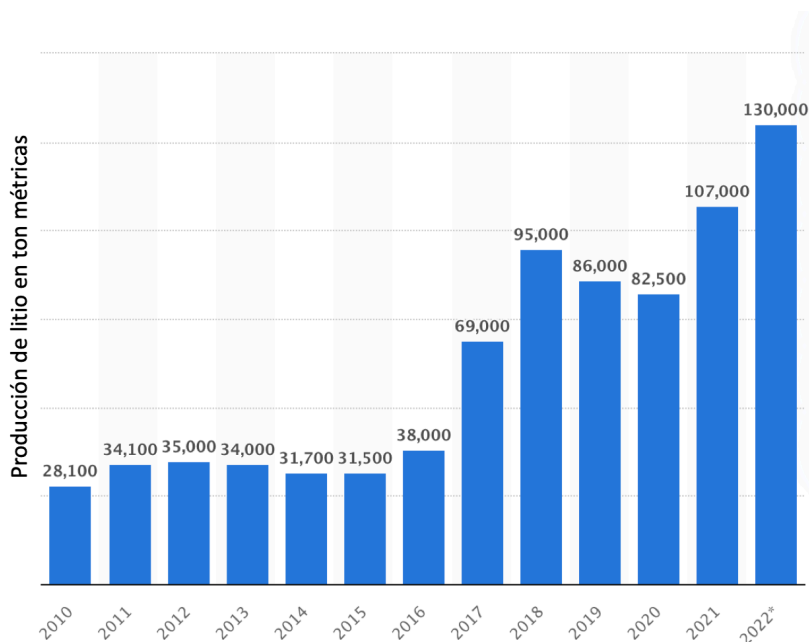
Considerando que el consumo mundial fue de 134 000 ton en 2022 (Jaskula, 2023), se concluye que la cantidad obtenida en la superficie terrestre sin incluir océanos debe ser igual a esa cantidad menos lo que se genera a partir el reciclado de los productos caducos, especialmente de las baterías. Sin embargo, las cifras reportadas en internet varían mucho e inclusive son mucho mayores a lo esperado. Por ejemplo, HUCT (2020) reporta un consumo de 265 000 toneladas en 2015 y un estimado de 498 000 toneladas para 2025, posiblemente se refiere a carbonatos, pues mi peso es mayor cuando formo este compuesto, pero no en todas las fuentes dan la información sobre el tipo de material reportado. No obstante, se observa que todas las cifras hasta 2022, indicaron que el mercado iba en crecimiento, principalmente debido al uso extensivo de baterías de iones de litio o dispositivos electrónicos para los vehículos eléctricos (Figura 4). De hecho, en 2021 fue de 4.6 millones, en 2022 de 7.3 y la tendencia se esperaba

que fuera en aumento¹³ (Skidmore, 2022). Por otro lado, también otros factores fortalecieron la predicción de que la demanda seguiría en constante aumento, como las políticas gubernamentales de muchos países que promueven la energía limpia, así como el aumento de mi uso en la fabricación de vidrio y cerámica; y la expectativa es que esa tendencia positiva se mantuviera en el futuro, pero en 2023 hubo un cambio importante, varios factores desfavorables disminuyeron drásticamente la demanda del metal. Especialmente, la principal causa fue la brusca caída de los autos eléctricos en China,¹⁴ que fue generada por la cancelación de las subvenciones gubernamentales para la adquisición de este tipo de vehículos. La existencia de excedentes provocó una drástica disminución en el precio.

13 <https://www.statista.com/statistics/1059214/global-battery-electric-vehicle-sales/> (Consulta: 21 septiembre 2023).

14 <https://cincodias.elpais.com/economia/2023-04-21/el-precio-del-litio-se-hunde-casi-un-50-tras-la-fiebre-de-2022-la-tormenta-que-azota-al-elemento-clave-de-las-baterias.html>.

Figura 4. Producción de litio anual en el periodo 2010-2022



Fuente: Statista, 2023.

Tendencias en el precio

Hasta hace poco tiempo mi precio aumentaba constantemente (Liu *et al.*, 2019). Especialmente en los dos años pasados aumentó 13 veces, alcanzando en marzo de 2022, \$77 000 dólares/tonelada (máximo histórico),¹⁵ y todos esperaban que siguiera aumentando¹⁶ ya que las condiciones parecían muy favorables (Figura 5) y, además, se predijo que recursos considerados antieconómicos, podrían convertirse en fuentes económicas (Büyükburç *et al.*, 2006).

Los principales factores que favorecieron el aumento del mi precio son: a) el aumento de los

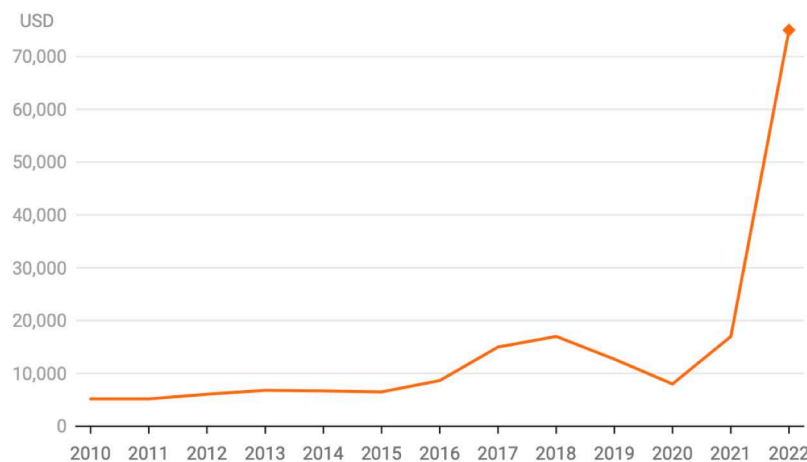
precios de las energías convencionales que fortalece el atractivo de la transición energética; b) el auge de la demanda de vehículos eléctricos (EV); c) el rápido avance de la tecnología de baterías recargables; d) insuficiencia en la oferta debido a la dependencia de la cadena de suministro de las empresas chinas que procesan el mineral. China controla entre el 70 y el 80 % de la cadena de suministro. Pero como dice el viejo refrán muy conocido en los mercados de materias primas, “la cura para los precios altos son los precios altos, o en el lenguaje más común, lo que sube tiene que bajar: mi precio se ha desplomado espectacularmente en los últimos cuatro meses, revirtiendo años de ganancias”.

El rápido descenso de mi precio en este año puede observarse en el Tabla 2, que se presenta a continuación.

15 <https://finance.yahoo.com/news/lithium-prices-crashed-spectacularly-next-200000652.html> (Consulta: 20 septiembre 2023).

16 <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Mercado%20del%20Litio%20-%20Proyecciones%20al%202035%20-06.06.2023.pdf> (Consulta: 21 septiembre 2023).

Figura 5. Promedios anuales del precio de la tonelada métrica de carbonato de litio (grado batería) expresado en USA-dólar, publicados por U.S. Geological Survey.



Los precios de 2022 fueron tomados del Global Commodity Insights en mayo 4 de este año. Fuente: <https://www.canary-media.com/articles/batteries/chart-lithium-prices-are-through-the-roof-this-year>.

Tabla 2. Variación de precios del carbonato de litio expresado en yuanes chinos por tonelada

Precio actual	Precio previo	Máximo	Mínimo	Periodo	Unidad	Frecuencia
169500.00	169500.00	5750000.00	39000.00	2017 - 2023	CNY/T	DIARIA

Fuente: BBVA Research y Bloomberg.

Consideraciones finales

Además de un mercado cambiante, sujeto a variables no previsibles, hay otros obstáculos a resolver para los nuevos proyectos de producción de litio, como son: a) el impacto ambiental, aunque se considera menor el impacto que el de otros proyectos mineros, se utilizan reactivos y se consume agua y, en algunos casos, se requieren altas temperaturas. En los procesos

actuales por cada minuto del proceso de extracción se consumen 600 l,¹⁷ y muchos depósitos están ubicados en sitios con carencia de agua, como Sonora, México, además hay daños a la flora y fauna; b) accidentes, los cuales ocurren a pesar de que las empresas mineras en el mundo, incluyendo México, cuentan con sis-

¹⁷ <https://dialogochino.net/en/extractive-industries/364343-interview-mexico-lithium-we-wont-see-100-mexican-process-for-a-decade/> (Consulta: 20 septiembre 2023).

temas de seguridad, por lo que deben de ser reforzados especialmente en aspectos de ingeniería; c) impactos sociales como afectaciones a la cultura local, bajo acceso de los lugareños a trabajos de alto nivel en las minas y falta de preparación en la población local. Todos estos factores convierten a los proyectos mineros en indeseables. Por ejemplo, la planeada mina de Jadar en Serbia, fue retrasada por Rio Tinto después de protestas de la población. Si estos casos se generalizan pueden afectar a futuros proyectos. Stuart Crow, presidente de Lake Resources, cita el fracaso de las empresas y los gobiernos occidentales por no construir cadenas de suministro adecuadas. Él afirmó: “Si no se logra aumentar la producción, no habrá suficiente litio en el planeta, independientemente de quién lo expanda y quién lo entregue”.¹⁸ En conclusión, hay que encontrar formas de producción más limpias para producir elementos esenciales para las tecnologías energéticas de menor impacto; d) cambios súbitos en los mercados de autos eléctricos. El mercado de estos vehículos está sujeto a diversas variables como atenuación o eliminación de los subsidios a vehículos eléctricos, menores sanciones o costos al uso de autos de combustión interna, menor precio del petróleo y otros; por lo que es ingente construir cadenas de suministro adecuadas para equilibrar la oferta con la producción; e) sustitución por otros elementos en las baterías.

Están en desarrollo tecnologías que pueden ser muy competitivas, como las baterías de hidrógeno, ion-sodio, ion magnesio, ion-potasio, ion-calcio, etc.; f) diversificación de las fuentes. Hay fuentes por ahora no explotadas, como el agua de mar, pero el desarrollo tecnológico

18 https://mine.nridigital.com/mine_jun22/lithium_shortages_threat_opportunity (Consulta: 21 septiembre 2023).

parece que puede volverlas económicamente factibles, afectando la minería actual del litio; g) reciclado de baterías. Se tiende a una economía circular, basada en el reciclaje, reducción y reutilización. Se espera que el mercado mundial de reciclaje de baterías de iones de litio alcance los 3 480 millones de dólares en 2027, según Emergen Research.¹⁹ Una barrera ha sido la falta de ganancias vinculadas a esta práctica, pero el auge de los vehículos eléctricos ha hecho que sea rentable recuperarme, junto a otros metales de las baterías gastadas; h) desaceleración económica mundial. Se espera la generalización del uso de vehículos eléctricos y otros consumibles que me utilizan, pero en una desaceleración de la demanda puede bajar en forma muy importante mi producción.

Referencias

- Barbosa, L., Sanservino, M., Barone, V., Visintin, A. y Díaz, F. J. (2020). Extracción de litio de β -espodumeno mediante tratamiento térmico con cloruro de calcio. En *El litio en la Argentina: visiones y aportes multidisciplinarios desde la Universidad Nacional de La Plata*.
- Büyükburç, A., Maraşlıoğlu, D., Bilici, M. U. y Köksal, G. (2006). Extraction of lithium from boron clays by using natural and waste materials and statistical modelling to achieve cost reduction. *Minerals Engineering*, 19(5), 515-517.
- Gutiérrez-Parra (2018). Alternativas de extracción de litio para salmueras de sqm salar. Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Chile.
- HOUCT (2020) *Historia original de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Irán*. <http://www.news-courier.com/applied-sciences/news/harvesting-vital-lithium-from-sea-water-329602> (Consulta: 25 septiembre 2023).
- 19 <https://www.emergenresearch.com/industry-report/lithium-ion-battery-recycling-market>.

- Jacoby Mitch (2021). Can seawater give us the lithium to meet our battery needs? *C&E*, vol. 99, Issue 36. <https://cen.acs.org/materials/inorganic-chemistry/Can-seawater-give-us-lithium-to-meet-our-battery-needs/99/i36> (Consulta: 21 septiembre 2023).
- Jaskula, Brian W. (2023). *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, January. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-lithium.pdf> (Consulta: 25 septiembre 2023).
- Lien, R. H. (1985). *Recovery of Lithium from a Montmorillonite-type Clay* (Vol. 8967). US Department of the Interior, Bureau of Mines.
- Liu, G., Zhao, Z., y Ghahreman, A. (2019). Novel approaches for lithium extraction from salt-lake brines: A review. *Hydrometallurgy*, 187, 81-100.
- Miatto, A., Reck, B. K., West, J. y Graedel, T. E. (2020). The rise and fall of American lithium. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105034.
- NOTICIA (2023). Informe identifica 5 empresas con concesiones de litio en México. *Bnamericas*. <https://www.bnamericas.com/es/noticias/informe-identifica-5-empresas-con-concesiones-de-litio-en-mexico>
- Pistilli, Melissa. (2023). *Types of Lithium Brine Deposits*. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-deposit-types-brine-pegmatite-and-sedimentary/> (Consulta: 20 septiembre de 2023).
- Prieto, Gonzalo (2021). *Extracción de litio de agua de mar*. <https://blog.uclm.es/gonzalorprieto/2021/10/22/extraccion-de-litio-del-agua-de-mar/> (Consulta: 25 septiembre 2023).
- Skidmore, Zachary (2022). *Lithium shortages: threat or opportunity?* <https://www.mining-technology.com/features/lithium-price-challenges/> (Consulta: 20 septiembre 2023).
- Vieceli, N., Nogueira, C. A., Pereira, M. F., Durão, F. O., Guimarães, C. y Margarido, F. (2017). Optimization of lithium extraction from lepidolite by roasting using sodium and calcium sulfates. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 38(1), 62-72.
- Wu, L., Evans, S. F., Cheng, Y., Navrotsky, A., Moyer, B. A., Harrison, S. y Paranthaman, M. P. (2019). Neutron spectroscopic and thermochemical characterization of lithium–aluminum-layered double hydroxide chloride: Implications for lithium recovery. *The Journal of Physical Chemistry C*, 123(34), 20723-20729.
- Zhao, H., Wang, Y. y Cheng, H. (2023). Recent advances in lithium extraction from lithium-bearing clay minerals. *Hydrometallurgy*, 106025.
- Zhu, L., Gu, H., Wen, H. y Yang, Y. (2021). Lithium extraction from clay-type lithium resource using ferric sulfate solutions via an ion-exchange leaching process. *Hydrometallurgy*, 206, 105759.

Tratamiento con litio del Trastorno Bipolar en México



Xóchitl Ayala González

Estudió Medicina en la Universidad Autónoma de Guadalajara, realizó su internado de pregrado en el Hospital Español y allí mismo hizo la residencia en Psiquiatría con el respaldo universitario de la UNAM. Actualmente es jefa de servicio de la Unidad de Psiquiatría del mismo Hospital Español y presidenta del Consejo Mexicano de Psiquiatría, además de participar activamente en la formación de médicos residentes en Psiquiatría.

20

Resumen

El litio es un ion muy rico que se ha utilizado con diversas finalidades. En el ámbito médico es una herramienta clave especialmente en el tratamiento del trastorno bipolar, donde ocupa una de las primeras líneas de tratamiento. Actualmente la prevalencia de este trastorno, a nivel mundial, es de más del 1%. El trastorno bipolar es una enfermedad mental grave, crónica y altamente incapacitante, para la persona que lo padece. El litio también tiene un rol importante en la prevalencia del suicidio y en el trastorno depresivo mayor, pues existe información que es un neuro-protector. Por ello este artículo intentará analizar su uso farmacológico.

Palabras clave: Litio, Trastorno Bipolar.

Abstract

Lithium is a very rich ion that has been used for a variety of purposes. In the medical field, it is a key tool especially in the treatment of bipolar disorder, where it occupies one of the first lines of treatment. Currently the prevalence of bipolar disorder worldwide is more than 1%. Bipolar disorder is a serious, chronic and highly disabling mental illness for the person who suffers from it. Lithium also has an important role in the prevalence of suicide and major depressive disorder, as there is information that it is a neuroprotector. Therefore, this article will attempt to analyze its pharmacological use.

Keywords: Lithium, Bipolar Disorder.

En 1817, un estudiante sueco de química llamado Arfwedson aisló por primera vez el litio junto con su maestro Berzelius. Hasta 1855 se consiguió aislar el litio en estado puro por electroforesis. Éste se puede encontrar en muchos minerales, agua marina, manantiales y en tejido de plantas y animales (Mármol, 2006).

El litio se comenzó a usar como medicamento a mediados del siglo XIX para el tratamiento de la gota. Posteriormente se administró como sustituto del cloruro sódico y hasta finales del 1940 se descubrieron sus efectos antimaniacos. En 1949, John F. J. Cade, psiquiatra australiano, lo utilizó como tratamiento de la manía al observar que tenía una propiedad sedante. En 1970, la Food and Drug Administration (FDA) autorizó su indicación para el tratamiento de la manía, y en 1974 como tratamiento de mantenimiento en pacientes con antecedentes de manía. Durante varias décadas, el litio fue el único fármaco aprobado para el tratamiento de la manía tanto en fases agudas como de mantenimiento (Kaplan). También se prescribe como tratamiento complementario del trastorno de depresión mayor. En la actualidad se utiliza, de forma eficaz para el tratamiento de la manía y para la profilaxis del trastorno bipolar (Mármol, 2006). El litio (Li) es un ion monovalente que forma parte del grupo IA de la tabla periódica junto con el sodio, el potasio, el rubidio, el cesio y el francio. Para obtener 300 mg se necesitan 1597 mg de carbonato de litio.

Es un ion muy versátil que tiene diversos usos; sin embargo, el objetivo en este breve artículo es revisar su uso médico y farmacológico.

En 1851, Falret fue el primer médico que describió el Trastorno Bipolar TBP y le llamó la “folie circulaire”, describió los episodios maníacos y melancólicos separados por intervalos libres de sintomatología. En 1854, Baillarger utilizó el término “folie a double form” para describir los episodios cíclicos (Mármol, 2006).

En nuestro país, existen pocos datos epidemiológicos que aborden el trastorno bipolar. Un estudio realizado en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, conducido por el Dr. Lara Tapia, reporta que esta enfermedad ocupa la segunda causa de internamiento por enfermedad psiquiátrica, lo mismo que en otras instituciones de otros países. Observaron que los brotes son más frecuentes durante los cambios de estación (especialmente en verano) y más frecuente en adultos jóvenes. También destaca el Dr. Lara Tapia que la disminución de los brotes se debe principalmente al tratamiento profiláctico con litio, resaltando por otra parte su bajo costo (Lara Tapia, 2002).

La Dra. Claudia Becerra Palars del Instituto Nacional de Psiquiatría “Ramón de la Fuente Muñiz”, en un reciente artículo “Trastorno bipolar y su epidemiología”, reporta una prevalencia actual mundial de más del 1%. Apunta que la prevalencia del TBP tipo I es del 0.4% y del tipo II es del 14% siendo este tipo más común en mujeres. Por otro lado, la Encuesta sobre la Salud Mental de la Organización Mundial de la Salud (OMS), muestra una tasa de prevalencia del 2.4% del espectro bipolar, y con base en datos de la OMS, en 2019 alrededor de 40 millones de personas padecían TBP. Becerra concluye que el TBP es una enfermedad severa que tiene implicaciones disfuncionales en distintos



22

ámbitos de la vida para quien lo padece, altera gravemente sus relaciones sociales, familiares, laborales, emocionales, afectivas y, dada su cronicidad, dificulta la posibilidad de tener una favorable calidad de vida. Existen diversas formas de intervención que pueden acompañar el curso de la enfermedad e incluso con la atención apropiada es posible tener periodos prolongados de eutimia (Becerra-Herrera, 2023). Por lo tanto, el litio es un medicamento ampliamente conocido que juega un papel fundamental en el tratamiento del TBP, así como otros usos que mencionaremos más adelante.

Según la guía de práctica clínica del IMSS, el trastorno afectivo bipolar se caracteriza por la presencia de episodios reiterados (al menos dos) en los que el estado de ánimo y los niveles de actividad de las y los enfermos están pro-

fundamente alterados, de forma tal que la alteración en ocasiones consiste en una exaltación del estado de ánimo y un aumento de la vitalidad y del nivel de actividad (manía e hipomanía) y, en otras, en una disminución del estado de ánimo y un descenso de la vitalidad y de la actividad (depresión), con presentaciones variables de intensidad y duración de los episodios (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2017).

En Estados Unidos existe una asociación que mensualmente recibe alrededor de 5 mil llamadas mensuales buscando información, la National Depressive and Maníaco Depressive Association (DMDA) y cuya página de internet recibe un cuarto de millón de visitas mensuales. Se dice que el trastorno bipolar es la sexta causa de discapacidad y afecta a 2.3 millones de personas, representando un gasto en este país

de alrededor de 44 billones de dólares anuales. Según la National DMDA, menos del 50% de las y los pacientes afectados por la enfermedad reciben un tratamiento adecuado (Mármol, 2006).

La mayoría de los pacientes con trastorno bipolar describen su enfermedad como estado de humor “elevados” y “bajos”; generalmente aparece al final de la adolescencia y, frecuentemente, asociado a situaciones de estrés y a episodios tanto maníacos como depresivos, así como a la privación del sueño (Mármol, 2006).

El 50% de los pacientes con trastorno bipolar tiene familiares con esta enfermedad. Desafortunadamente aún se carece de una prueba que pueda hacer el diagnóstico de la enfermedad (Mármol, 2006).

Existen tres tipos de trastorno bipolar.

1. Tipo 1. Se define como episodios maníacos que duran por lo menos siete días, o por síntomas maníacos que son tan severos que se requiere atención inmediata. Los episodios depresivos duran por lo menos dos semanas. Los episodios mixtos también son factibles. Si se experimentan cuatro o más episodios de manía o depresión durante un año se llama ciclicidad rápida.
2. Tipo 2. Se define por un patrón de episodios depresivos e hipomaníacos, los últimos son menos severos que los episodios maníacos del tipo 1.
3. Trastorno Ciclotímico. Síntomas hipomaníacos y depresivos recurrentes que no son tan intensos o no duran tanto para calificarlos de hipomanía o episodios depresivos (National Institute of Mental Health, 2023).

Los siguientes son los criterios diagnósticos del trastorno bipolar según el DSM-5, para ello se requiere que exista un episodio maníaco.

Episodio maníaco.

+ Ánimo anormalmente elevado, expansivo o irritable, así como aumento de la actividad y energía durante una semana, a lo largo de casi todo el día y todos los días.

+ Tres o más de los siguientes síntomas.

- Grandiosidad y autoestima exagerada.
- Descenso de la necesidad de dormir.
- Habla más de lo habitual y presiona para seguir hablando.
- Fuga de ideas o sensación subjetiva de rapidez de ideas. Distractibilidad. Aumento de la actividad o agitación automotriz.
- Implicación en actividades peligrosas o de riesgo.

+ La alteración del ánimo se traduce en dificultades de funcionamiento en la vida diaria, las relaciones sociales, el trabajo, precisa hospitalización o presenta rasgos psicóticos.

+ El episodio no se debe a otras enfermedades o tratamientos.

+ El episodio maníaco puede precederse o seguirse de un episodio hipomaníaco o depresivo. Puede surgir en el curso del tratamiento depresivo.

Episodio hipomaníaco.

+ Ánimo anormalmente elevado, expansivo o irritable y aumento de la actividad y energía al menos cuatro días consecutivos casi todo el día y todos los días.

+ Tres o más de los siguientes síntomas.

- Grandiosidad y autoestima exagerada
- Descenso de la necesidad de dormir.

- Habla más de lo habitual y presiona para seguir hablando.
- Fuga de ideas o sensación subjetiva de rapidez de ideas.
- Distractibilidad.
- Aumento de la actividad o agitación automotriz.
- Implicación en actividades peligrosas o de riesgo.

+ Hay un cambio inequívoco de comportamiento, impropio de una persona.

+ La perturbación del ánimo y el cambio personal son evidentes para otras personas.

+ La perturbación no es tan grave como para precisar hospitalización.

+ El trastorno no se debe a otras enfermedades.

Depresión

Un episodio depresivo tiene características típicas de depresión mayor; el episodio debe incluir ≥ 5 de los siguientes síntomas durante el mismo periodo de dos semanas, y uno de ellos debe ser el estado de ánimo depresivo o la pérdida de interés o placer y, salvo los pensamientos o los intentos de suicidio, todos los síntomas deben estar presentes durante casi todo el día:

- Estado de ánimo depresivo la mayor parte del día.
- Marcada disminución del interés o placer en todas o casi todas las actividades la mayor parte del día.
- Aumento o pérdida significativa ($> 5\%$)

Fotografía: Lucian Petrean



de peso, o disminución o aumento del apetito.

- Insomnio (a menudo insomnio de mantenimiento del sueño) o hipersomnia
- Agitación o retardo psicomotor observado por otros (no informado por el mismo paciente).
- Fatiga o pérdida de energía.
- Sentimientos de inutilidad o de culpa excesiva o inapropiada.
- Capacidad disminuida para pensar o concentrarse, o indecisión.
- Pensamientos recurrentes de muerte o suicidio, intento de suicidio o un plan específico para suicidarse.

Los rasgos psicóticos son más frecuentes en la depresión bipolar que en la depresión unipolar.

Existen muchos medicamentos para el tratamiento del trastorno bipolar dentro de los estabilizadores del estado de ánimo, y los antipsicóticos atípicos. El litio puede prevenir los episodios y reducir su severidad, así como disminuir el riesgo de suicidio. Esto, aunque se añada un antidepresivo al tratamiento porque por sí solos, los antidepresivos pueden disparar un episodio maníaco o de ciclicidad rápida (National Institute of Mental Health, 2023).

Según la Guía de práctica clínica del IMSS, el litio deberá usarse también para el control inmediato de la sobreactividad o conductas peligrosas, o puede ser usado en combinación con un antipsicótico (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2017).

El litio, desde hace muchos años, es el más clásico de los estabilizadores del estado de ánimo que además de controlar los síntomas maníacos, es un preventivo del trastorno ma-

niaco-depresivo, además de poseer cierta eficacia en el control de la depresión bipolar. Hay estudios como el de Goodwin que han demostrado que el litio es más efectivo que el ácido valproico como profiláctico en la prevención del suicidio en enfermos bipolares (Mármol, 2006).

Parámetros farmacéuticos y efectos adversos

Se administra por vía oral, en forma de carbonato principalmente y se excreta por el riñón. La mitad de la dosis se elimina en 12 horas, el resto se excreta en un periodo de una a dos semanas. Eso significa que se va acumulando lentamente en un periodo de entre una y dos semanas. Se deben monitorizar sus valores séricos ya que tiene un margen terapéutico estrecho en especial en pacientes con dietas hipocalóricas, ancianos, embarazadas y toxicómanos (Mármol, 2006). Las concentraciones recomendadas son de 0.6-1.2 Mol/l para el tratamiento profiláctico del trastorno bipolar (concentraciones sanguíneas de 0.5 a 0.8 Mol/ml), y algo más altas en fases maníacas de 1 a 1.5 ml/l (Mármol, 2006).

Los efectos adversos del litio son náusea, diarrea, dolores abdominales, polistila, fatiga, somnolencia, temblores, aumento de peso. Disminuye los niveles de tirosina libre y eleva la tirotrópina produciendo hipotiroidismo. Los más frecuentes son la náusea y la diarrea que se presentan menos frecuentes cuando se administran formulaciones de liberación prolongada. La toxicidad se presenta en niveles superiores a 3 ml/l y pueden provocar efectos neumológicos graves como confusión, convulsiones, coma y hasta la muerte (Mármol, 2006).

Las interacciones con otros medicamentos deben de tomarse en cuenta principalmente con

los antipsicóticos, diuréticos, antiinflamatorios no esteroideos, inhibidores de la enzima angiotensina, xantinas, metronidazol y bloqueadores del canal de calcio. Puede provocar una cardiopatía congénita conocida como enfermedad de Ebstein si se administra durante el embarazo, el riesgo es bajo (1/1500) pero debe considerarse el riesgo-beneficio (Mármol, 2006). Otro gran problema en su administración es el bajo cumplimiento por parte de los enfermos (Mármol, 2006).

Es fundamental educar a los pacientes para que reconozcan cuáles son los signos y síntomas de la toxicidad, los factores que pueden afectar las concentraciones del fármaco, y cómo y cuándo deben determinarse dichas concentraciones, así como hacer hincapié en la impor-

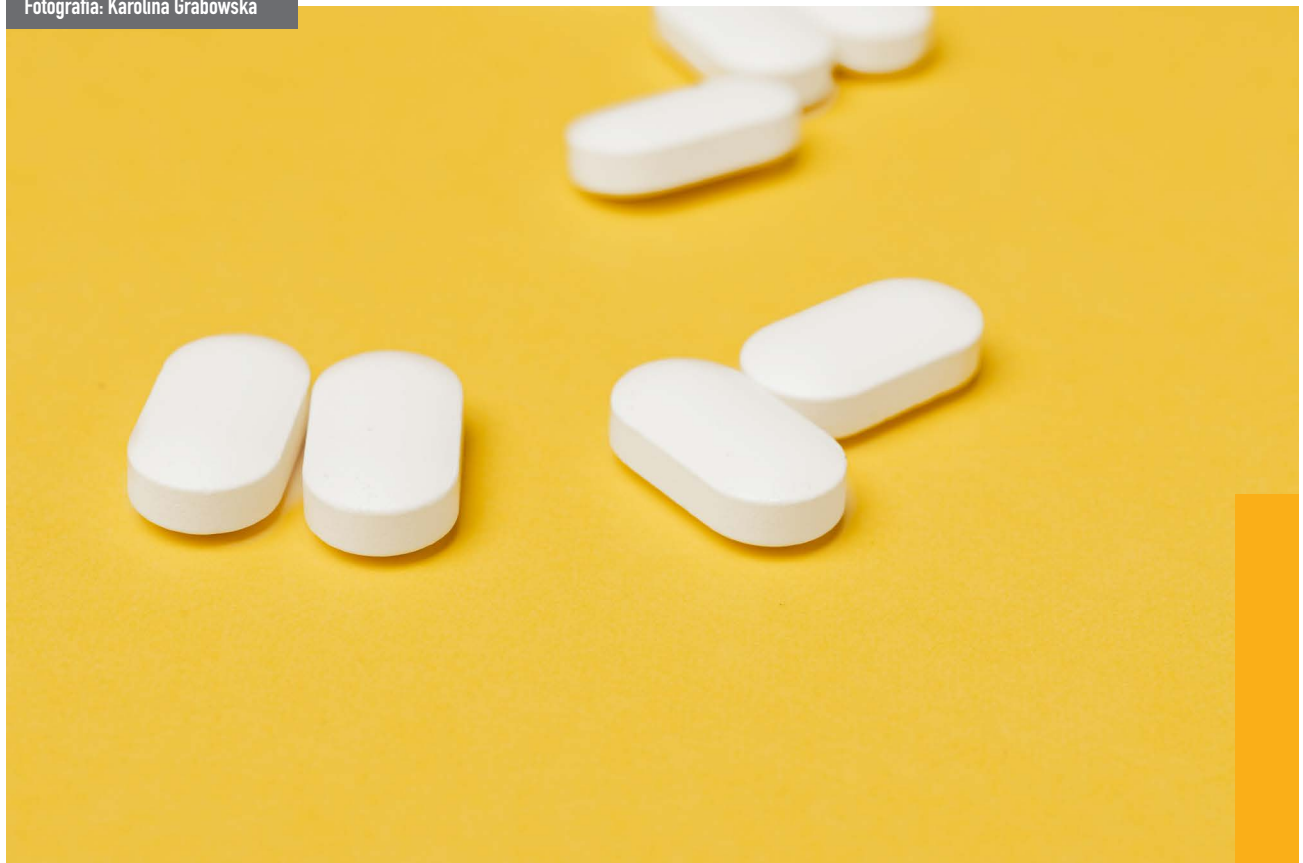
tancia de mantener una comunicación regular con su médico (Kaplan).

Es importante insistir en que no interrumpan el tratamiento o modifiquen las dosis prescritas por su médico.

Mecanismo de acción

No se conoce aún con precisión. Se han propuesto muchas teorías como alteraciones en el transporte de iones hasta la modulación de la expresión genética (Mármol, 2006). También se ha propuesto que actúa sobre neurotransmisores, sobre neuropéptidos, en la transducción de señales o en sistemas de segundos mensajeros (Kaplan).

Fotografía: Karolina Grabowska



Prevención del suicidio

Existen varios estudios que demuestran su capacidad preventiva. Un estudio que incluyó a 17 500 pacientes demostró que el riesgo de suicidio era de un 3.2% al año en enfermos que no seguían ningún tratamiento, pero disminuía a un 0.37% en personas tratadas con litio, lo que lleva a una disminución del riesgo del 80% Baldessarini, en un estudio similar, observó una reducción del 65% de intentos suicidas, pero

más importante, demostró que se producía un aumento del riesgo suicida en pacientes que suspendían el tratamiento con litio, en una proporción 30 veces mayor. Thies Flechner comparó el uso de litio con otros estabilizadores del ánimo, para lo cual se incluyeron a 380 pacientes a los que aleatoriamente se asignaron a los grupos, tanto de litio, como de carbamacepina y amitriptilina. De 14 personas que intentaron y de nueve que consumaron el suicidio, ninguna estaba en el grupo del litio (Mármol, 2006).

Indicaciones psiquiátricas del litio

Antiguamente
➤ Manía gotosa
Bien establecidas (autorizadas por la FDA)
➤ Episodios maníacos
➤ Tratamiento de mantenimiento
Razonablemente bien establecidas
➤ Trastorno bipolar I
➤ Episodios depresivos
➤ Trastorno bipolar II
➤ Trastorno bipolar I con ciclación rápida
➤ Trastorno ciclotímico
➤ Trastorno de depresión mayor
➤ Depresión aguda (como potenciación del tratamiento principal)
➤ Tratamiento de mantenimiento
➤ Trastorno esquizoafectivo

Continúa en la siguiente página...

Pruebas de eficacia en determinados grupos de pacientes

- Esquizofrenia
- Agresividad (episódica), arrebatos de ira y conductas autolesivas
- Trastornos de la conducta en el niño y el adolescente
- Discapacidad intelectual
- Trastornos cognitivos
- Presos

Usos anecdóticos, controvertidos, no establecidos o dudosos

- Trastornos relacionados con el alcohol u otras sustancias
- Adicción a la cocaína
- Trastornos del estado de ánimo inducidos por sustancias con características maníacas
- Trastorno obsesivo-compulsivo
- Fobias
- Trastorno de estrés postraumático
- Trastorno de déficit de atención/hiperactividad (TDAH)
- Trastornos de la conducta alimentaria
- Anorexia nerviosa
- Bulimia nerviosa
- Trastornos del control de los impulsos
- Síndrome de Kleine-Levin
- Trastornos mentales debidos a una afección médica (p. ej., un trastorno del estado de ánimo debido a una afección médica con manifestaciones maníacas)
- Catatonía periódica
- Hipersomnias periódicas
- Trastornos de la personalidad (p. ej., antisocial, límite, esquizotípica, inestabilidad emocional)
- Trastorno disfórico premenstrual
- Trastornos sexuales
- Fetichismo travestista
- Exhibicionismo
- Hipersexualidad patológica

Fuente: FDA, Food and Drug Administration (Kaplan).

Consideraciones finales

El litio es un medicamento que actualmente ocupa un lugar de suma importancia en el tratamiento de los Trastornos Mentales, específicamente en la prevención de la manía, en la manía misma y en la profilaxis del TBP; puede funcionar potencializando la acción de los antidepresivos, además existen estudios que lo respaldan previniendo el suicidio. Existen un número importante de pacientes portadores de TBP o incluso Depresión Unipolar Severa que se han beneficiado significativamente al tomar litio, es verdad que es muy importante para una prescripción adecuada y segura, contar con un conocimiento amplio y profundo sobre este fármaco, que si es administrado con una evaluación individualizada y completa a cada paciente, teniendo claro los efectos secundarios así como sopesando el riesgo-beneficio, puede generar una calidad de vida muy positiva para nuestros pacientes.

Referencias

- Aguerri, L. A. (2019). *Relación de las variables clínicas, evolutivas y pronósticas de los subtipos de trastorno bipolar tipo I y II. Psiquiatría Biológica*, 26(1), 15-21.
- Arrieta, M. (s.f.). *Trastorno Bipolar. Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12(86), 5052-5066.
- Becerra-Herrera (2023). Trastorno Bipolar y su Epidemiología. *Revista de Salud Mental*.
- Instituto Mexicano del Seguro Social (2017). Diagnóstico y Tratamiento del Trastorno Bipolar. *Guía de Práctica Clínica*, 1-8.
- Kaplan, S. (s.f.). *Psiquiatría Clínica*. Décimo Primera Edición.
- Lara Tapia, H. (2002). Características clínicas y epidemiológicas del Trastorno Bipolar en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez. Análisis de cuatro años. *Revista Neurología, Neurocirugía y Psiquiatría*, 132-137.
- Mármol, F. (2006). Litio: 55 años de historia en el tratamiento del trastorno bipolar. *Med Clin (Barc)*, 189-195.
- National Institute of Mental Health (2023.). *Bipolar Disorder*. Bethesda, Maryland.

Más allá de la extracción: el litio y otras áreas de oportunidad para la industria nacional

30



Juan Pablo Aguirre Quezada

Posdoctorado en Control Parlamentario por la Universidad de Alcalá de Henares y posdoctorado en regímenes Políticos Comparados por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y Universidad de Colorado. Doctorado en Humanidades, maestría en Historia de México, en Derecho Penal por la Universidad Latinoamericana, en Administración Pública por la Universidad del Valle de México. Licenciado en Ciencias Políticas y Administración Pública por la UNAM. En el campo profesional, se ha desempeñado como coordinador de Investigación y Política Pública en la Secretaría de Seguridad Pública del Gobierno de Nuevo León; investigador del Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República, y del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados.



Erick Arias Vargas

Originario del Estado de México, es estudiante de la licenciatura en Derecho en la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional Autónoma de México, y miembro de la sociedad de alumnos de la misma facultad. Instagram: @ariasrickmx X: @ariasrickmx

Resumen

Nuestro país puede convertirse en una potencia intermedia entre los principales productores de litio. En ese sentido, la industria del litio en México requiere colmar un gran vacío regulatorio y normativo; además de desarrollar una planeación estratégica en vista del futuro panorama. La cooperación entre los estados, la sociedad y la iniciativa privada se hace imprescindible para la Transferencia de Tecnología, que permitirá tener el mejor aprovechamiento posible del litio. Existen áreas de aprovechamiento del litio que

no han sido suficientemente discutidas, como el reciclaje, manejo de los residuos o contaminación, por mencionar algunos. La creciente industria del litio obedece a necesidades energéticas de almacenamiento y eficacia. Existe un reto en cuanto al almacenamiento de las baterías, y manipulación de grandes cantidades del mineral.

Palabras clave: Aprovechamiento del litio; transferencia de tecnología; eficacia energética; baterías de litio; regulación y normatividad; contaminación y manejo de residuos.

Abstract

Our country can become an intermediate power among the main lithium producers. In this sense, the lithium industry in Mexico needs to fill a huge regulatory and normative loophole; in addition to develop a strategic planning according to the future scene. Cooperation between states, society and corporations is essential for Technology Transfer, which will allow for the best possible use of lithium. There are areas of lithium exploitation that have not been sufficiently discussed; such as recycling, waste management or pollution, to name a few. The growing lithium industry is due to energy needs for storage and efficiency. There is a challenge regarding the storage of batteries, and handling large quantities of the ore.

Keywords: Better use of lithium; technology transfer; energy efficiency; lithium batteries; regulation and normativity; pollution and waste management.

El litio es uno de los minerales indispensables para el almacenamiento de energía en una etapa de la humanidad en que su uso ha cobrado una alta demanda por sus ventajas aplicadas en temas de movilidad o tecnologías de la información y comunicaciones (TIC). Aunado a lo anterior, diferentes estudios geológicos han detectado zonas de abundancia de este elemento en el norte de México, lo que ha motivado diferentes decretos para su aprovechamiento.

Si bien la exploración y extracción del litio son temas eminentemente mineros, existen temas relacionados a su comercio y utilización que acompañan a esta actividad, y que de cara a un

futuro desarrollo en nuestro país se requerirán abordar, tal como sucede en países líderes del aprovechamiento de este mineral, como Australia, China o Chile, entre otros. En ese sentido, el presente artículo consta de tres principales temas. En el primero se abordará la transferencia de tecnología, a fin de reflexionar acerca del desarrollo de conocimientos que permita mayor calidad en el uso y transformación de este mineral.

El litio no sólo genera competencia entre los países y empresas que los laboran, sino entre minerales utilizados en las baterías de alta duración tal como el níquel o el cadmio. Por lo que en el segundo fragmento se abordarán aspectos relacionados al almacenamiento y eficacia energética, así como en las necesidades de mayor almacenamiento para recorrer más kilómetros sin gasolina, o usar por más horas las computadoras o teléfonos inteligentes. Finalmente, este artículo refiere acerca del tema de la contaminación por el inadecuado procesamiento de las baterías usadas, haciendo especial énfasis en aquellas de litio, así como del reciclado de los componentes realizados con este elemento.

Transferencia de tecnología

La industria del litio va más allá de la exploración y extracción realizadas en la actividad minera, ya que para su uso generalizado requiere de transformaciones tecnológicas que permitan su mejor aprovechamiento, sea en actividades médicas, para la creación de materiales, o bien, en la elaboración de pilas de alta capacidad utilizadas en la movilidad o en las telecomunicaciones.

Debido a la incipiente actividad nacional relativa a este mineral, será necesario el desarrollo



de tecnologías, en el que los centros de investigación, universidades y empresas tienen una función importante para crear las patentes que permitan la industrialización de productos de litio. Sin embargo, este conocimiento también es desarrollado en otros países, por lo que existe la posibilidad de generar acuerdos que permitan la transferencia de tecnología.

La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) define este concepto como “un proceso de colaboración que permite que los descubrimientos científicos, los conocimientos y la propiedad intelectual fluyan desde los creadores, como las universidades o las instituciones de investigación, hasta los usuarios públicos y privados” (OMPI, 2023). Mediante estas acciones, los avances científicos se generalizan y llegan a la sociedad. Por lo que en el caso del

litio, será necesario que la industria mexicana lleve a cabo estas acciones, a fin de tener un mejor aprovechamiento del mineral.

El tema de transferencia de tecnología para el litio es de gran importancia para algunos países latinoamericanos que han explotado este mineral por décadas. En el caso de Chile, académicos como Carolina Sepúlveda señalan la importancia de la propuesta de Ley en el tema para fortalecer la estrategia comercial del mineral, al referir que “la primera ley de transferencia tecnológica se promulgó en 1980 en Estados Unidos, y fue crucial para el control efectivo de la inversión pública en I+D” (UAH, 2023). Este debate llegará a México en los plazos en que la extracción de litio sea factible económicamente y se busque dar valores agregados a la industria relacionada.

La coyuntura del nearshoring y los acuerdos del T-MEC serán factores que influirán en la transferencia de tecnología de forma general a México, y que también pueden incidir en los productos que se desarrollen a partir del litio. En ese sentido, Forbes destacó que “la industria del litio se encuentra en una fase muy inicial y los retos son muchos, pero el principal es el tecnológico para su explotación, ya que sus reservas de litio están en depósitos de arcilla y ante esto debe prepararse” (Forbes, 2023). Por lo que el área de oportunidad será transformar la extracción minera en baterías de alta duración y capacidad, sobre todo en el sentido del potencial de fabricación y armado de la industria automotriz, uno de los sectores que ofrece más exportaciones de procedencia mexicana.

Parte de la evolución del litio como componente de baterías ligeras ha sido gracias a la investigación y las transformaciones científicas, por lo que adoptar los conocimientos que permitan la transferencia tecnológica permitirá tener avances tangibles para la sociedad. En ese sentido, Plinio Sosa Fernández, académico de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) señaló que los avances logrados en la actualidad con baterías de este mineral no serían posibles “sin el apoyo a la ciencia básica, pues sólo luego de la generación del conocimiento puede pensarse en la aplicación y, para ello, se requiere del trabajo coordinado de universidades, empresas y gobierno” (Saavedra, 2019). Posterior a las reformas legislativas acerca de la extracción y producción de este mineral, es importante fortalecer la investigación que permita hacer un uso más eficiente del tercer elemento de la tabla periódica.

Parte del interés para el desarrollo de las baterías de litio fue lo que motivó las investigaciones de los ganadores del Premio Nobel de Química 2019, “el premio fue otorgado al estadounidense John B. Goodenough, el británico Stanley Whittingham y el japonés Akira Yoshino por el desarrollo de esta batería” (Hernández, 2023). Por lo que además de la movilidad, la inserción de este mineral en la vida cotidiana ha ayudado a disminuir el uso de cables, lo que ha permitido TIC más flexibles, además de aventajar la movilidad con menor uso de hidrocarburos. Esta publicación del Banco Interamericano de Desarrollo también reflexiona acerca de la adaptabilidad del litio con fuentes renovables de energía, lo que ha permitido la fabricación de dispositivos que almacenan energías de origen eólico o solar.

La transferencia de tecnología para la industria del litio es un reto que se complica con el tiempo, ya que es incierta la demanda que tendrá el mineral, y si bien vendrán décadas de un uso extendido, no hemos dimensionado qué material puede sucederlo como elemento básico. A lo largo de la historia, el carbón o los hidrocarburos como el petróleo han tenido una época de auge y decadencia, por lo que los avances científicos que se desarrollan han sido de gran utilidad para brindar una amplia variedad de usos, tal como lo ha sido con la petroquímica. En ese sentido, las innovaciones tecnológicas son de gran importancia para asegurar la disponibilidad del litio en el futuro, ante eventuales alzas de la demanda.

Por tanto, algunas fuentes refieren que en “la actualidad, las cosas no son tan positivas y este material comienza a escasear y su precio se está disparando. Pues bien, unos ingenieros



del MIT¹ han mostrado una buena solución que utiliza otros materiales” (Barbero, 2022); por lo que la investigación señalada refiere que otros elementos como el azufre o el aluminio pueden generar durabilidad y rendimiento en baterías a un costo menor que el litio. Esta situación demuestra la necesidad de impulsar estrategias de transferencia de tecnológica antes de otros descubrimientos e inventos que puedan desplazar las oportunidades que representa el litio para la minería nacional.

Una situación que puede fortalecer las investigaciones y el desarrollo de la tecnología del litio es la relación de la demanda con la producción de este elemento. Algunas voces conside-

ran que “a pesar de las expectativas de que la demanda de litio aumentará de, aproximadamente, 500 000 toneladas métricas de carbonato de litio equivalente (CLE) en 2021 a unos tres o cuatro millones de toneladas métricas en 2030” (Azevedo *et al.*, 2022). Es decir, habrá un alto crecimiento en la extracción, el cual puede ser un equilibrio frente a la demanda, pero deberá ser acompañado de insumos de transformación a fin de que el litio sea de utilidad para las actividades humanas.

Las baterías de litio son una realidad para disminuir el uso de combustibles contaminantes como hidrocarburos o carbón. En ese sentido, el analista de almacenamiento de energía de Wood Mackenzie, Rory McCarthy dice: “el

1 Massachusetts Institute of Technology.

ion-litio tiene una ventaja significativa sobre otras tecnologías de almacenamiento alternativas y esa no es otra que las economías de escala” (Iberdrola, 2023). La generalización del consumo y la accesibilidad por parte de la población requiere investigación y desarrollo de tecnologías.

Parte de estos avances tecnológicos tendrán que apoyarse en la inteligencia artificial, a fin de utilizar de mejor forma las cualidades que pueden ofrecer las pilas de ion-litio; por lo que uno de los retos en la transferencia de conocimientos es la creación de plantas de generación virtuales, que ofrecen “ayudar a que no se registren grandes cortes de suministro de energía o apagones” (Tapia, 2023). Lo cual es una necesidad en México, debido a las condiciones de clima y temperatura, lo que permitirá una mejor eficiencia energética. No obstante, aún se deberán desarrollar los recursos humanos, materiales y tecnológicos para este aprovechamiento.

Almacenamiento y eficacia energética

Una de las necesidades energéticas es tener su disponibilidad, además de ser accesible a un costo al alcance de la mayoría de las y los consumidores. En ese sentido, las pilas de ion-litio tienen un tiempo de vida útil, por lo que se necesitan reemplazar para que automóviles, computadores o teléfonos puedan seguir funcionando.

Si bien el litio es uno de elementos que mejor almacena energía —en comparación con otros minerales como níquel o cadmio—, algunos expertos consideran que:

... el contenido de las baterías varía en función de su mezcla de materiales activos, y con la entrada de nuevas tecnologías de baterías en el mercado, hay muchas incertidumbres en torno a cómo afectará el mercado de las baterías a la futura demanda de litio (Azevedo *et al.*, 2022).

Es decir, uno de los retos que existen en esta industria en la que México deberá participar es que en las próximas décadas aumentará la demanda del mineral para el uso de más y eficientes baterías, pero en algún momento se puede descubrir otro elemento que genere más almacenamiento a un menor costo, por lo que el tiempo del desarrollo del litio —como en su momento lo fue del carbón y ahora del petróleo— es limitado.

Esas ventajas de las baterías de litio ofrecen eficiencia para guardar energía. De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) “estas baterías pueden almacenar entre el 95 y 99% de la energía generada, mientras que las de plomo ácido —aún de uso común para almacenar energía solar— solo alcanzan hasta un 85%” (Hernández, 2023). Así, también hay una eficiencia en la recarga constante en el contacto eléctrico.

Además de las opciones que nos brinda la eficacia energética del litio, es importante reflexionar acerca del almacenamiento de este tipo de baterías, a fin de que en el proceso de fabricación y comercialización puedan estar en un estado de conservación óptimo que les permita continuar con su ciclo útil, y que en dichos contenedores se observen técnicas específicas. Entre estas soluciones destacan “la última generación de almacenamiento de aire comprimido (Compressed Air Energy Storage - CAES) y el almacenamiento de aire líquido (Liquid Air

Energy Storage - LAES)” (Enel, 2023). Por lo que uno de los desafíos que enfrentará la industria mexicana del litio es contar con estos grandes hubs, que permitan una distribución en la oferta y demanda de baterías.

El almacenamiento de baterías de litio también debe apearse a reglamentos de protección civil. La firma Jungheinrich-Profishop señala:

Si la temperatura ambiente es demasiado alta pueden aparecer gases inflamables en el interior de las baterías como consecuencia de determinados procesos químicos. A partir de una temperatura de 70° Celsius en la celda, puede producirse lo que se denomina un desbordamiento térmico; la batería de litio arde y se quema (Jungheinrich-Profishop, 2022).

A fin de evitar riesgos por posibles incendios en almacenes con baterías de litio, se debe tomar en cuenta información tal como el mineral “que contiene la batería es especialmente reactivo, reacciona violentamente al contacto con el agua y es inestable a altas temperaturas” (Jungheinrich-Profishop, 2022). Los equipos antiincendios deben ser especializados y tomar en cuenta estas particularidades.

Otras fuentes afirman que los peligros que puede generar este tipo de baterías son:

- Sobrecarga eléctrica (durante carga y descarga).
- Sobre calentamiento (sobrecarga térmica causada por fuentes externas de calor o de energía).

- Impactos (daños mecánicos que liberan la alta densidad de energía de la batería) (Haléco, 2021).

La naciente industria mexicana del litio debe valorar riesgos de altas temperaturas, lluvias o inundaciones en los lugares donde se pretenden construir los sitios de almacenamiento, considerando situaciones logísticas como orografía o distancias entre los lugares de explotación del mineral y fabricación de baterías.

Aquellos antecedentes permiten la reflexión acerca de que el litio debe contar con regulaciones que lo consideren como un material peligroso y de riesgo para su transportación, tal como ocurre con otros químicos o hidrocarburos. A falta de ese tipo de normatividad, algunas empresas en diferentes países han emitido sus propias reglas de operación para evitar posibles incidentes. Una recomendación consecuente sería: “las baterías de litio dañadas o defectuosas deben retirarse inmediatamente de las zonas de almacenamiento y producción y almacenarse temporalmente a una distancia segura o en una zona de protección contra incendios hasta su eliminación” (Cemo, 2023). Por lo que este tipo de pilas con defectos son las que deben ser tratadas con mayor responsabilidad.

Las cargas excesivas, así como las descargas totales en las baterías de litio son factores que aumentan el riesgo de incendio. La marca Toyota informó que “al liberar oxígeno, se pueden producir fugas térmicas, lo que significa que el fuego generado se produce a través de una reacción en cadena” (Solé, 2023). Estos riesgos deben ser tomados en cuenta ante estudios de impacto en la seguridad de

automotores que utilicen este tipo de baterías, que pueden tener accidentes que generen reacciones no deseadas.

Aunado a lo anterior, es previsible que en un futuro cercano (dos a tres años) aumente la demanda de reemplazo de las baterías de vehículos híbridos y eléctricos que actualmente estén en uso, tanto en México como en otros países en que han tenido una gran aceptación, por lo que el manejo de las baterías usadas, y el traslado e instalación de las pilas de reemplazos deberán realizarse con altos estándares de calidad.

Contaminación de pilas de litio y su reciclaje

Un debate que existe en los principales países productores de litio es el cuidado al medio ambiente mediante políticas de manejo de residuos, así como acciones específicas en la extracción. Al respecto, algunas fuentes refieren:

La visión del litio como una mercancía global se sustenta en que la exploración y el avance tecnológico podrán mantener el suministro del mineral y el crecimiento de esta industria —por ejemplo, con procesos de reciclaje de baterías y electrónicos con una eficacia en la recuperación de litio superior a 50% respecto a la actual 7% (Martínez, 2023).

Parte importante del reciclaje del litio pasará por las empresas líderes en telecomunicaciones, teléfonos inteligentes, computo o automotrices, ya que el reaprovechamiento generará beneficios en la oferta y demanda de estos productos.

Acerca de la contaminación del agua por el uso del litio, al igual que otros productos mineros, “este proceso consume grandes canti-

dades de agua dulce, lo cual puede afectar su disponibilidad para la agricultura y el consumo humano. En consecuencia, la minería del litio tiene implicaciones socioambientales relevantes” (Martínez, 2023). Por lo que el desarrollo de esta actividad extractiva y su posterior transformación deberá contar con estudios de impacto ambiental, a fin de evitar degradaciones que afecten la salud y vida tanto de animales y plantas como de personas.

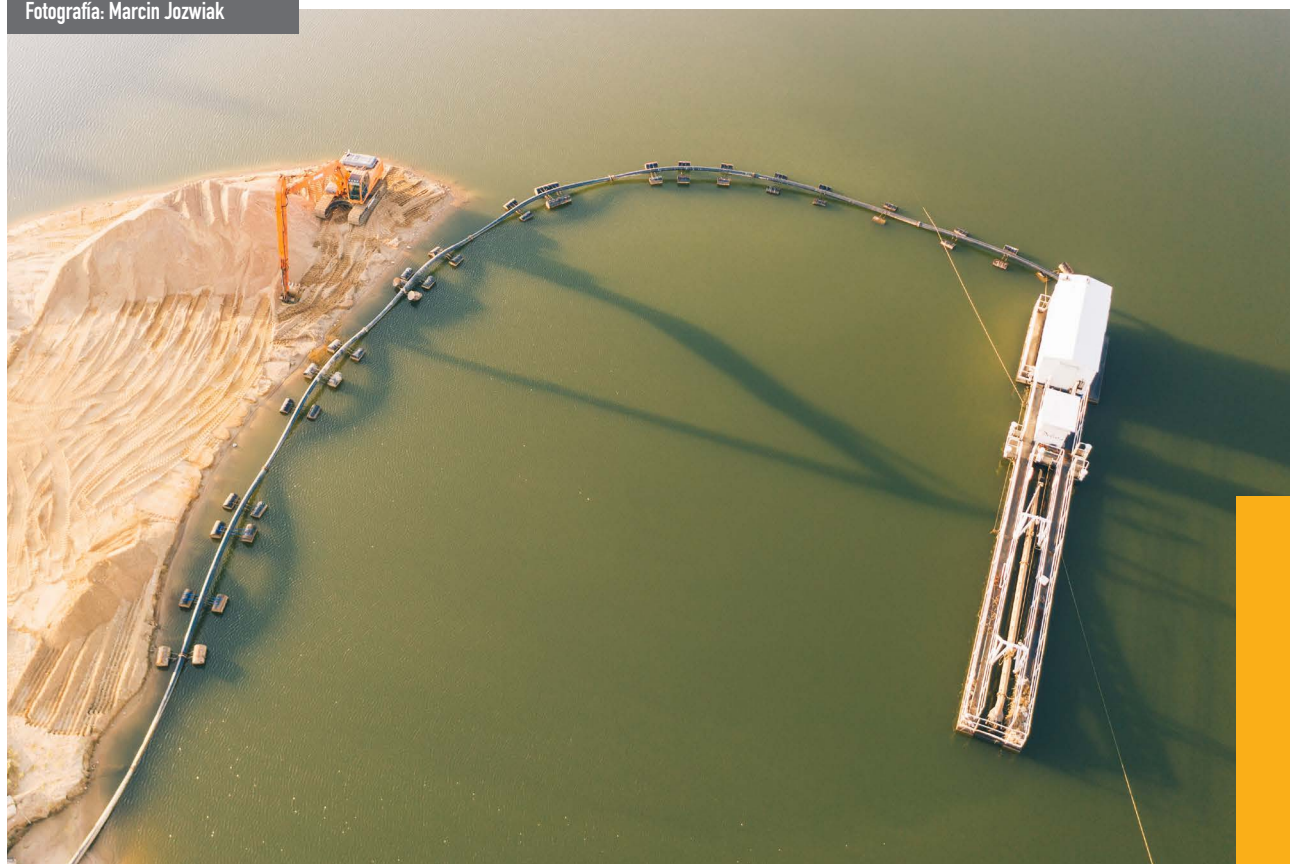
Otras voces alertan del uso de grandes cantidades de agua para la extracción de este mineral. World Energy Trade (WET) advierte que:

El gran consumo de agua de varios tipos de tecnologías DLE ha suscitado dudas. La tecnología en la que confía General Motors Co para suministrar una “cantidad considerable” de su litio de la región del Mar de Salton utiliza 10 toneladas de agua por cada tonelada de litio producida (WET, 2022).

Por tanto, si bien las pilas de litio son un gran recurso para almacenar energía y reducir la contaminación por el aire, no es libre de otras fuentes de alteración ecológica, los cuales están presentes desde su extracción hasta su industrialización y consumo. En ese sentido, potencias en la producción del litio como Australia o Chile han realizado esfuerzos para el manejo ecológico responsable de este mineral.

Parte de las discusiones existentes en nuestro país acerca de la producción y reciclaje del litio también se relacionan con ideas que busquen un manejo apropiado de las baterías de litio, tal como lo propone el senador Miguel Ángel Mancera Espinosa, con su iniciativa que busca:

Reformar la Ley de Manejo y Disposición de Residuos Sólidos, al incluir a las baterías de



litio como sujetas a un tratamiento de manejo de material peligroso, debido a que una sola pila puede ser tóxica y contaminar cuatro toneladas de agua, lo cual pone en riesgo las vidas —tanto humanas como de animales— en caso de ser consumida (Aguirre, 2021, p.7).

Es decir, a la par de una extracción y producción de baterías de este y otros minerales, también es importante realizar políticas públicas y acciones que eviten que dichos desechos lleguen a lugares equivocados, tales como tierras productivas o cauces de agua.

Un reto pendiente en la industria del litio es el reciclaje, en el caso de Australia ha sido una labor compartida entre gobierno, sociedad civil y empresas. Una suma de esfuerzos que merece ser analizada para aprender experiencias que

permitan mejorar las prácticas en el tratamiento de residuos tóxicos del litio. Debido al crecimiento del valor de este mineral, el reciclado del litio puede ser una alternativa más realista para lograr un precio justo.

De acuerdo con World Energy Trade, un estudio publicado por *Journal of the Indian Institute of Science*:

...descubrió que menos del 1% de las baterías de iones de litio se reciclan en EE.UU. y la UE, en comparación con el 99% de las baterías de plomo-ácido, que son las que más se utilizan en los vehículos de gasolina y las redes eléctricas (WET, 2023).

El reciclaje es una de las alternativas para disminuir la contaminación que puede generar la

minería en materia de litio. Pese a la alta demanda aún no existen esfuerzos serios para el reúso de este mineral. Es un área de oportunidad que México debe tomar en cuenta para un avance integral.

WET también señala que “en una economía lineal, cuando una batería se queda sin carga, acaba en un vertedero. En una economía circular, en lugar de ir a la basura, las baterías vuelven a empezar su vida como materia prima y regresan a la cadena de fabricación” (WET, 2023). Esto permite que sean diferentes usuarios quienes pueden aprovechar los mismos elementos más veces.

Otras voces refieren algunos desafíos a resolver para que el reciclaje de las baterías de litio sea eficiente. Al respecto, se destaca que “en 2030, el metal procedente del reciclaje podría representar entre el 15 y el 25% de las necesidades de metal para producir baterías de ion-Litio” (MTB, 2022). Por tanto, al realizar estas acciones se pueden recolectar metales como aluminio o cobre; además de circuitos y elementos metálicos adicionales al litio, lo que en conjunto puede abonar a la demanda por el uso de las baterías.

Sin embargo, no todo es optimista en el proceso de reciclaje del litio, ya que algunos problemas se relacionan con el tamaño y capacidad de las propias pilas, aunque también con los derechos humanos de las personas que intervienen en su fabricación. Ejemplo de ello es:

... las baterías de iones de litio pueden contener cantidades variables de níquel, litio, manganeso, cobalto y otros productos químicos. Estos materiales deben extraerse del suelo y refinarse, un proceso que puede provocar una

contaminación ambiental dañina. La extracción de cobalto también se ha relacionado con violaciones de derechos humanos en la República Democrática del Congo, donde se extrae el 70% del suministro mundial de cobalto. El trabajo infantil incluso se ha documentado en estas minas de cobalto (Field, 2021).

Es decir, las condiciones laborales de las personas dedicadas a la minería conllevan diferentes riesgos de trabajo y de salud, aunado a la falta de controles en algunos países para evitar la labor de menores de edad en estos yacimientos, lo cual agrava la situación social en torno a esta industria.

Asimismo, Field señala los riesgos del abandono de los residuos de estas baterías en vertederos, ya que cuando dichas pilas no tienen un tratamiento debido:

... liberan contaminantes ambientales, incluidos metales pesados tóxicos como cobalto, manganeso y níquel. Las baterías de iones de litio también pueden crear incendios subterráneos en los vertederos donde pueden arder lentamente durante largos periodos, liberando sustancias químicas tóxicas de la basura circundante (Field, 2021).

En ese sentido, es un desafío lograr centros de reciclado que impidan la liberación irresponsable de elementos que puedan representar un riesgo para la salud y la estabilidad del ecosistema.



Comentarios finales

El decreto del aprovechamiento del litio como recurso exclusivo de la nación mexicana generó muchas expectativas acerca de los resultados que se pueden obtener. México tiene litio y puede desarrollar su extracción, transformación y ventas en una época de alta demanda a escala internacional, situación que continuará en las próximas décadas.

Si bien nuestro país tiene los yacimientos, aún no destaca en la producción de este mineral y se encuentra demasiado rezagado en cuanto a la tecnología desarrollada para tal fin en comparación con líderes en el rubro como Australia, China, Chile, Estados Unidos, Sudáfrica o Bolivia, entre otros. Si bien la mayor parte de los estudios y análisis se están enfocando en

el tema de la extracción, aún falta un desarrollo integral del tema, tal como la transferencia de tecnología, transformación del mineral, cuidado del medio ambiente, uso eficiente del agua para su desarrollo, reciclaje, entre otros.

Nuestro país se puede convertir en una potencia intermedia entre los principales productores de litio, aunque mucho depende de las políticas públicas y del éxito de las acciones que se adopten. Por tanto, el trabajo en litio debe enfocarse en diferentes ámbitos que ofrezcan un valor agregado, lo que incrementará el costo y beneficio.

Finalmente, si bien el litio puede traer grandes beneficios a la sociedad mexicana, también hay que hacer énfasis en los desafíos que conlleva su uso, por lo que temas como la transferencia de tecnología, almacenamiento de las

baterías, una mayor cantidad de rendimiento de las pilas, manejo de residuos tóxicos o el reciclaje son temas que deberán contar con políticas públicas específicas en el esfuerzo nacional del aprovechamiento de este mineral.

Referencias

- Aguirre Quezada, Juan Pablo (2021). *Regulación del litio. Propuestas y comparativa internacional*. Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República. <https://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/5253> (fecha de consulta: 18 de septiembre de 2023).
- Azevedo, Marcelo et al. (2022). *La minería del litio: Cómo las nuevas tecnologías de producción podrían impulsar la revolución mundial de los vehículos eléctricos*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/destacados/la-mineria-del-litio-como-las-nuevas-tecnologias-de-produccion-podrian-impulsar-la-revolucion-mundial-de-los-vehiculos-electricos/es> (fecha de consulta: 11 de septiembre de 2023).
- Barbero, Martín Iván (2022). El futuro de las baterías pasa por el aluminio, y no por el litio actual. *El País*. 25 de agosto. https://cincodias.elpais.com/cincodias/2022/08/25/lifestyle/1661414011_307071.html (fecha de consulta: 25 de agosto de 2023).
- Cemo (2023). *Normas y reglamentos importantes*. <https://www.cemo-group.es/resumen-de-industrias/industria/almacenamiento-de-sustancias-peligrosas/reglamento-de-baterias-de-litio> (fecha de consulta: 18 de septiembre de 2023).
- Enel Green Power (2023). *Más allá del litio. El almacenamiento del futuro*. <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/almacenamiento/mas-alla-del-litio> (fecha de consulta: 18 de septiembre de 2023).
- Field, Steven (2021). Los riesgos ambientales del reciclaje de baterías en la era de los vehículos eléctricos. *Topic Insights*. <https://topicinsights.com/es/sustentabilidad/reciclaje-de-baterias-de-iones-de-litio/> (fecha de consulta: 19 de septiembre de 2023).
- Forbes México (2023). *Pese al reto tecnológico en litio, México no debe desistir*. Cepal. 6 de julio de 2023. <https://www.forbes.com.mx/pese-a-reto-tecnologico-en-litio-mexico-no-debe-desistir-cepal/> (fecha de consulta: 23 de agosto de 2023).
- Haléco (2021). *Cómo almacenar correctamente baterías de litio*. <https://www.haleco.es/como-almacenar-correctamente-baterias-de-litio/> (fecha de consulta: 18 de septiembre de 2023).
- Hernández, Óscar (2023). *Litio, una oportunidad de desarrollo en la región*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://www.iadb.org/es/mejorandovidas/litio-una-oportunidad-para-el-desarrollo-de-la-region> (fecha de consulta: 24 de agosto de 2023).
- Jungheinrich-Profishop (2022). *Almacenamiento de baterías de litio: qué debe tener en cuenta*. https://www.jungheinrich-profishop.es/es/guia-profi/almacenamiento-baterias-litio/#Las_clases_de_peligro_determinan_el_almacenamiento_de_baterias_de_litio (fecha de consulta: 18 de septiembre de 2023).
- Iberdrola (2023). *Las baterías de ion de litio, fundamentales para el almacenamiento de energía*. <https://www.iberdrola.com/innovacion/baterias-ion-litio> (fecha de consulta: 11 de septiembre de 2023).
- Martínez, Naim (2023). Las visiones de desarrollo “sustentable” y el incierto futuro del litio. *Otros diálogos*. 1 de julio. El Colegio de México. <https://otrosdialogos.colmex.mx/las-visiones-de-desarrollo-sustentable-y-el-incierto-futuro-del-litio> (fecha de consulta: 23 de agosto de 2023).
- MTB (2022). *Los desafíos del reciclaje de las baterías de ion litio*. <https://www.mtb-recycling.fr/es/los-desafios-del-reciclaje-de-las-baterias-de-ion-litio/> (fecha de consulta: 19 de septiembre de 2023).
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) (2023). *Propiedad intelectual y transferencia de tecnología*. <https://www.wipo.int/technology-transfer/es/> (fecha de consulta: 23 de agosto de 2023).
- Saavedra, Diana (2019). Litio, elemento clave para las nuevas tecnologías. *Gaceta UNAM*. 2 de diciembre. <https://www.gaceta.unam.mx/litio-elemento-clave-para-las-nuevas-tecnologias/> (fecha de consulta: 24 de agosto de 2023).

Solé, Carles (2023). *Baterías de litio: Posibles riesgos y cómo prevenirlos*. <https://blog.toyota-forklifts.es/baterias-litio-riesgos-y-prevencion> (fecha de consulta: 18 de septiembre de 2023).

Tapia Cervantes, Patricia (2023). Cómo la IA y las baterías de ion-litio pueden prevenir apagones eléctricos. *Forbes*. 11 de julio. <https://www.forbes.com.mx/plantas-de-generacion-virtuales-una-opcion-para-evitar-apagones/> (fecha de consulta: 11 de septiembre de 2023).

Universidad Alberto Hurtado (UAH) (2023). *Litio: Una nueva ley de transferencia tecnológica para Chile*. <https://www.uahurtado.cl/litio-una-nueva-ley-de-transferencia-tecnologica-para-chile/> (fecha de consulta: 23 de agosto de 2023).

World Energy Trade (WET) (2022). *La nueva tecnología del litio puede ayudar al mundo a ser ecológico, si funciona*. <https://www.worldenergytrade.com/metales/litio/la-nueva-tecnologia-del-litio-puede-ayudar-al-mundo-a-ser-ecologico-si-funciona> (fecha de consulta: 11 de septiembre de 2023).

La siguiente frontera: litio, regulación y el Estado mexicano

Óscar Ocampo



Estudió Ciencia Política en Universität Hamburg y tiene una maestría en Políticas Públicas por la London School of Economics and Political Science. Coordinador de Energía y Medio Ambiente en el Instituto Mexicano para la Competitividad y asociado del Consejo Mexicano de Asuntos Internacionales (Comexi). Trabajó como asesor de los consejeros independientes del Consejo de Administración de la Comisión Federal de Electricidad. Consultor en asuntos públicos en De la Calle, Madrazo, Mancera, S.C., en donde participó en el diseño y evaluación de políticas públicas, regulación, reformas legislativas, estudios sectoriales, asuntos relacionados con el comercio internacional y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, así como en la revisión de mejores prácticas internacionales para diversos sectores industriales y de servicios.

43

Resumen

México necesita hacer una reflexión sobre el modelo regulatorio para la gobernanza del litio. Los casos de Argentina, Bolivia y Chile en América del Sur, así como de Australia en la cuenca de Asia-Pacífico ofrecen distintas rutas —y resultados— como casos de estudio para el país. Desplegar energías renovables de forma acelerada para cumplir los compromisos climáticos de países y empresas implica necesariamente una mayor extracción de minerales a un ritmo que no tiene precedentes y México debe estar preparado para esta nueva realidad.

Palabras clave: litio, minería, minerales críticos, transición energética.

Abstract

Mexico needs to reflect on the regulatory model for lithium governance. The cases of Argentina, Bolivia and Chile in South America, as well as Australia in the Asia-Pacific basin offer different routes —and outcomes— as case studies for the country. Deploying renewable energies at an accelerated pace to meet the climate commitments of countries and companies necessarily implies increased mineral extraction at an unpreceden-

ted rate, and Mexico must be prepared for this new reality.

Keywords: lithium, mining, critical minerals, energy transition.

Introducción

Suena contraintuitivo, pero la mitigación del cambio climático conllevará necesariamente a la mayor expansión en la actividad minera en décadas. Quizá la principal tendencia en materia de energía durante la última década ha sido precisamente el creciente peso de los minerales para la producción y almacenamiento. En el fondo, ninguna actividad humana es neutral con su entorno y con la transición energética, es decir, la descarbonización gradual de las actividades económicas de los países es intensiva en recursos del subsuelo. De acuerdo con las estimaciones de la Agencia Internacional de Energía, entre 2020 y 2040, la demanda mundial de minerales se duplicará en un escenario conservador, y se cuadruplicará en un escenario de transición energética acelerada (2021).

La trayectoria de las energías solar fotovoltaica y eólica indica que estas tecnologías tendrán el mayor crecimiento en la matriz energética mundial hacia 2050 (AIE, 2023), al mismo tiempo que la electromovilidad seguirá ganando terreno en los parques vehiculares de los países. ¿Qué tiene que ver esto con la minería? La producción de paneles solares, las turbinas eólicas, los vehículos eléctricos y las baterías necesitan de minerales críticos como cobre, zinc, níquel, plomo, cobalto, magnesio, paladio, silicio, litio y tierras raras, entre otros (Financial Times, 2023).

Esta nueva realidad abre un debate de la mayor relevancia sobre los modelos regulatorios del sector minero donde los países enfrentan el reto de desarrollar mecanismos para incentivar la inversión en un sector intensivo en capital, minimizar emisiones de carbono a la atmósfera, reducir el consumo y prevenir la contaminación del agua, beneficiar a las comunidades aledañas y recaudar recursos fiscales para la hacienda pública.

El caso del litio —desde su propiedad, los derechos de explotación, así como el desarrollo de su cadena de valor— ha estado en el centro de la discusión pública en México, a partir de su nacionalización en 2022 (DOF). ¿Es este el mejor modelo para gestionar el mineral? Debido a la poca experiencia en México en regulación de litio, es necesario analizar el estado de las cosas con este elemento, desde el punto de vista legal, regulatorio y de inversión para, posteriormente, compararlo con los modelos regulatorios de otros países en América Latina y la cuenca de Asia-Pacífico, algunos de los principales productores a nivel mundial.

El litio en México: entre las concesiones y el estatismo

La reforma a la Ley Minera de abril de 2022 pretendió modificar de forma sustancial el modelo regulatorio de este mineral al darle al Estado el monopolio de la exploración, explotación y desarrollo a lo largo de toda la cadena de valor (DOF). Sin embargo, es necesario hacer algunas precisiones.

En primer lugar, México no es un productor de litio, al menos no todavía. En todo caso, actualmente el litio en nuestro país es un potencial, un mercado incipiente, no una realidad. En segun-



do lugar, constitucionalmente los recursos en el subsuelo son propiedad de la nación, aunque el Estado permite a los privados explotarlos mediante concesiones (artículo 27). En este tenor, el cambio central de la reforma a los artículos 1, 5, 9 y 10 de la Ley Minera es precisamente la prohibición explícita de nuevas concesiones del litio (DOF, 2022a), así como la creación de una empresa paraestatal llamada LitoMx, encargada de explotar este mineral (DOF, 2022b). Originalmente se previó respetar las 36 concesiones existentes (27 de ellas activas) en ese momento (El País, 2022).

Destaca el caso de Bacadehuachi, Sonora, donde se ubica el yacimiento potencial más grande a nivel mundial. De un total de 244 millones de toneladas de minerales, se estima que entre 3.5 y 4.5 millones corresponden a carbonato del litio (de donde se extrae este elemento). Empero, el proyecto de la empresa Bacanora Lithium (propiedad de la minera china Ganfeng Lithium) enfrentó una serie de obstácu-

los que retrasaron su entrada en operación, prevista para 2023 (Animal Político, 2022). El litio en Bacadehuachi debe extraerse de arcilla, para ello la empresa patentó su tecnología, no obstante, esta no se ha implementado en ningún mercado de forma comercial (a diferencia del litio en salmueras o en rocas duras-pegmatitas). Aunado a los obstáculos técnicos y el alto gasto de inversión de capital (420 millones de dólares en su primera etapa y mil millones más en las subsecuentes), una decisión política frenó los planes de la empresa.

El 18 de febrero de 2023 el Ejecutivo Federal publicó un decreto en el *Diario Oficial de la Federación* Li-MX 1 donde cerca de 235 000 hectáreas fueron declaradas zona de reserva de litio, es decir, se prohibió la explotación de este mineral —aunque el decreto respetó las concesiones para otras actividades mineras (2023a)—. En los hechos se canceló la posibilidad de producir en el proyecto que más avance registraba. Las otras concesiones que reportan

avances se encuentran en Baja California, San Luis Potosí y Zacatecas, las cuales existen en un entorno de incertidumbre jurídica.

A pesar de que el proyecto de Bacadehuachi se reportaba como el yacimiento más grande del mundo, hoy no existe una estimación precisa de las reservas totales de litio en nuestro país, ni se tiene claridad respecto a la ubicación de estas. El Servicio Geológico de Estados Unidos calcula que contamos con 1.7 millones de toneladas de reservas, aunque las estimaciones de empresas con concesiones anuncian datos distintos y el Gobierno Federal no cuenta con un cálculo propio disponible al público.

El artículo 6, fracción VII, del decreto de creación de la empresa estatal Litio Mx, establece que ésta deberá “administrar y controlar las actividades necesarias para la producción, transformación y distribución de productos derivados del litio” —sin especificar dónde termina la cadena de valor del mineral y abre la puerta a que la paraestatal pueda “asociarse con otras instituciones públicas y privadas” (DOF, 2022b).

El segundo actor clave para explotar el litio en México es el Servicio Geológico Mexicano. Después de una reforma subsecuente a la Ley Minera en mayo de 2023 (DOF, 2023b), “la exploración del territorio para la búsqueda de minerales será exclusiva del Estado a través del Servicio Geológico Mexicano”. En otras palabras, es la única instancia facultada para explorar posibles yacimientos (DOF, 2023).

El proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación para 2024 prevé un presupuesto de 9.7 millones de pesos para LitioMx (SHCP, 2023). La única inversión adicional que se tenga registro desde la nacionalización de este mineral son los 36.8 millones de pesos que el Servicio Geológico Mexicano solicitó para exploración

de potenciales yacimientos de litio en México (Expansión, 2023), mientras que su presupuesto para 2024 no prevé cambios significativos.

La regulación de cualquier recurso en el subsuelo debe balancear consideraciones económicas (viabilidad financiera de los proyectos), fiscales (ingresos para el Estado mexicano como propietario de estos recursos), ambientales (emisiones y uso de agua), sociales (relación con las comunidades alrededor de las minas), laborales (protección de los trabajadores mineros) y políticas.

En este contexto, es necesario volver a la pregunta ¿es la nacionalización el mejor modelo para gestionar el litio? La experiencia nacional ofrece pistas. El Estado mexicano ha sido, históricamente, un pobre administrador de recursos en el subsuelo. El mejor ejemplo es el uso que se le dio a la renta petrolera después del auge de Cantarell en la década de los setenta. La restricción presupuestal —en un entorno de altas tasas de interés— limita las posibilidades de desarrollo para proyectos con necesidades de inversión que van mucho más allá de los recursos que se han asignado tanto a LitioMx como al Servicio Geológico Mexicano. No se define con claridad dónde termina la cadena de valor. El Gobierno Federal no tiene experiencia en la explotación de este mineral, mucho menos produciendo baterías de iones de litio.

Es pronto para adelantar visperas sobre el devenir del mercado de litio en México dada la limitada experiencia mexicana, por ello es útil voltear al sur, donde se ubican algunas de las principales reservas de litio a nivel mundial y algunos de los principales productores.

Experiencias desde el Triángulo del litio de América Latina

Argentina, Bolivia y Chile conforman el llamado Triángulo del litio en América Latina. A pesar de que los tres países cuentan con reservas significativas (se estima que en conjunto representan aproximadamente 56% de las reservas mundiales y 30.7% de la producción), sus producciones han seguido tendencias distintas (Gobierno de Argentina, 2021).

Chile es el segundo mayor productor de litio a nivel mundial —39 000 toneladas métricas en 2022 (Statista)—, únicamente superado por Australia —61 000 toneladas métricas en 2022 (Statista)—. El salar de Atacama ubicado en

ese país es el yacimiento de salmueras más importante actualmente en producción.

La Constitución Política de Chile cataloga al litio como “recurso estratégico” y permite su explotación “directamente por el Estado o por sus empresas, o por medio de concesiones administrativas o de contratos especiales de operación” (artículo 19, N 24, inciso 10). La Estrategia Nacional del Litio es el documento rector para la explotación de este mineral en Chile (Gobierno de Chile 2023). La estrategia establece los objetivos estratégicos de la política del litio:

- Desarrollo sostenible del potencial productivo.
- Sostenibilidad social y ambiental.
- Desarrollo tecnológico y de encadenamientos productivos.

Fotografía: Bruna Fiscuk_mina Chuquicamata_Chile



- Participación del país en las rentas del litio.
- Sostenibilidad fiscal.
- Diversificación de actores.

La estrategia, anclada en la participación público-privada, contempla la creación de una Empresa Nacional de Litio, al mismo tiempo que insiste en la necesidad de inversión privada para “estimular un mercado más competitivo” y para “incrementar los recursos fiscales” del país (2023). La estrategia reconoce la naturaleza cíclica del precio del litio, por lo que establece una regla para evitar “gastar ingresos del litio por encima de un umbral” definido como el precio promedio del litio de los últimos cuatro años (2023).

Argentina es otro caso de éxito en América del Sur. El país es actualmente el cuarto mayor productor a nivel mundial de litio —6 200 toneladas métricas en 2022 (Statista)—. Sus principales reservas se encuentran en los salares de la Puna en el occidente de ese país.

La Constitución nacional establece que provincias poseen la propiedad del litio, empero, su exploración y explotación está abierta a actores privados mediante el sistema de concesiones, asimismo el país cuenta con una empresa de propiedad mayoritariamente estatal, YPF Litio (Cepal, 2023). Este modelo regulatorio ha sido exitoso en captar inversiones en litio al otorgar una serie de incentivos donde destaca la “estabilidad fiscal” por 30 años para las inversiones en minas, acompañada de deducción de gastos de exploración y depreciación acelerada (Congreso de la Nación Argentina 1993). Únicamente entre 2020 y 2023 los anuncios de inversión en exploración y producción de litio en Argentina ascendieron a 10 300 millones de dólares (Bloomberg, 2023).

Bolivia es el caso contrario, un modelo estatal que no ha dado resultados, a pesar de que se estima que ese país posee las mayores reservas de litio a nivel mundial. El Estado Plurinacional de Bolivia tiene el monopolio legal sobre la explotación de este mineral (2023). No obstante, la abundancia en reservas no se ha reflejado en producción. Actualmente el país no produce litio de forma comercial a gran escala y solo existe una planta piloto para su procesamiento.

El ejemplo boliviano es un caso puntual de la necesidad de diversificar las posibilidades de inversión pública y privada en un sector tan intensivo en capital y con altos riesgos financieros y operativos.

En el rubro fiscal, Chile ha sido el país más exitoso en captar rentas económicas por el aprovechamiento del litio. De acuerdo con un estudio publicado en 2022 por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), durante la última década la hacienda pública argentina recibió 28% de los ingresos de privados por la explotación de litio, en Chile la cifra asciende a 36%

Estos tres países muestran trayectorias divergentes. Mientras que Argentina y Chile han atraído inversión, incrementado su producción de forma sostenida e ingresado recursos tributarios significativos, Bolivia —a pesar de sus reservas— carece de una industria alrededor del litio.

Modelos regulatorios en la cuenca Asia-Pacífico: Australia

El otro gran clúster de producción de litio es la cuenca de Asia-Pacífico, donde destaca parti-

cularmente Australia, que regula las actividades mineras exclusivamente a través de estados y territorios, con una participación limitada del Gobierno Federal. En este sentido, cada unidad subnacional puede definir su propio esquema de regalías.

A diferencia de América del Sur, Australia —actualmente el mayor productor de litio a nivel mundial— extrae el mineral principalmente de pegmatitas.

Los bajos costos logísticos y la integración comercial hacen que China sea el principal comprador de litio australiano. Aunque China es el tercer productor a nivel mundial —19 000 toneladas métricas en 2022 (Statista)—, la importancia de este país recae en su participación dominante en la cadena de procesamiento y refinamiento del litio con entre 50 y 70% de participación de mercado a nivel mundial, dependiendo del segmento (CEPAL, 2023).

Esta dependencia en un solo comprador, cada vez más cuestionada por socios y aliados de Australia como Estados Unidos, la Unión Europea y el Reino Unido, ha llevado al país de Oceanía a promover, por una parte, la diversificación de compradores para reducir su exposición al riesgo chino y, por otra, a buscar inversiones en otros segmentos de la cadena de valor del litio a través de investigación y desarrollo.

Consideraciones finales

Las trayectorias de Argentina, Australia y Chile ofrecen casos de estudio con mejores prácticas basadas en un Estado regulador, propietario de los recursos, y la colaboración público-privada en la exploración y explotación de minerales.

México tiene dos ventajas sobre los países analizados: su ubicación geográfica y su red de tratados comerciales internacionales, específicamente el Tratado México-Estados Unidos-Canadá (T-MEC). La apuesta del país debe ir por explotar esta ventaja comparativa.

Las reglas de origen para el sector automotriz del T-MEC —las más estrictas a nivel mundial— ofrecen a México la oportunidad de insertarse en la cadena de valor de la movilidad eléctrica en América del Norte, específicamente como proveedor para el desarrollo de baterías de ion de litio en la región, y así contribuir al cumplimiento de la regla (las autopartes esenciales —incluidas las baterías para vehículos de pasajeros eléctricos— deben cumplir con un valor de contenido regional de 75%) (Secretaría de Economía, 2020).

La economía del futuro está íntima e indivisiblemente ligada a la transición energética. De ahí que la competitividad de México en los próximos años y décadas se relacione con su capacidad de descarbonizar sus actividades industriales de forma acelerada y, simultáneamente, insertarse con éxito en las cadenas de valor de la producción y almacenamiento de energía con bajas emisiones.

La regulación del litio no se trata únicamente de litio. Los modelos regulatorios de este mineral deben servir como punto de partida para otros minerales esenciales para la transición energética como el zinc, el silicio o el magnesio. De ahí la importancia de generar un ambiente propicio para la inversión pública y privada en el sector minero con reguladores fuertes. La magnitud de las inversiones para la explotación minera exige un entorno predecible con reglas claras en un horizonte de largo plazo. El desafío fundamental es una cuestión de certidumbre



jurídica. El Estado mexicano debe demostrar un compromiso creíble con el Estado de derecho en el sector minero. Esto incluye actuar de forma congruente con la letra y el espíritu de las disciplinas que el Estado mexicano ha plasmado en tratados comerciales internacionales.

La transición energética no es inocua. Desplegar energías renovables de forma acelerada para cumplir los compromisos climáticos de países y empresas implica necesariamente una mayor extracción de minerales a un ritmo que no tiene precedentes. México debe aprovechar la transición energética para profundizar la integración económica de América del Norte y, a partir de ello, detonar mayores niveles de inversión, crecimiento, desarrollo y bienestar para los mexicanos. El reto no es menor, pero el país se

encuentra en una posición favorable para beneficiarse de estos cambios tectónicos en el sector energético. Sin embargo, esto no va a suceder por inercia. Desarrollarse, en el fondo, es una elección.

Referencias

- Agencia Internacional de Energía (2021). *The role of critical minerals in clean energy transitions*. París: Agencia Internacional de Energía. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- (2023). *World Energy Outlook 2023*. París: Agencia Internacional de Energía. <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023>
- Álvarez, J. P. (2023). Cuatro países producen más del 96% del litio del mundo: dos son latinoamericanos.

- Bloomberg, 13 de julio. <https://www.bloomberglia.com/2023/07/13/cuatro-paises-producen-mas-del-96-del-litio-del-mundo-dos-son-latinoamericanos/>
- Barragán, A. (2021). El sueño del oro blanco: López Obrador blindo la explotación del litio en la nueva reforma energética. *El País*, 14 de octubre. <https://elpais.com/mexico/2021-10-15/el-sueno-del-oro-blanco-mexico-busca-blindar-el-litio-en-la-nueva-reforma-electrica.html>
- Cámara de Diputados (s.f.). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Cámara de Diputados. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Cámara de Diputadas y Diputados de Chile (s.f.). *Constitución Política de Chile*. Cámara de Diputadas y Diputados de Chile. https://www.camara.cl/camara/doc/leyes_normas/constitucion.pdf
- Congreso de la Nación Argentina (s.f.). *Constitución Nacional*. Congreso de la Nación Argentina. <https://www.congreso.gob.ar/constitucionParte1Cap1.php>
- (1993). *Ley de Inversiones Mineras*. Congreso de la Nación Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-24196-594/texto>
- Comisión Económica para América Latina (2022). *Renta económica, régimen tributario y transparencia fiscal de la minería del litio en la Argentina, Bolivia (Estado Plurinacional de) y Chile*. Comisión Económica para América Latina. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47807-renta-economica-regimen-tributario-transparencia-fiscal-la-mineria-litio-la>
- (2023). *Extracción e industrialización del litio oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48964-extraccion-industrializacion-litio-oportunidades-desafios-america-latina-caribe>
- De Luna, Tzuara (2023). México invertirá 36.8 mdp para exploración de litio: hay cuatro zonas en la mira. *Expansión*. <https://expansion.mx/empresas/2023/07/07/mexico-invertira-36-mdp-para-exploracion-litio>
- Diario Oficial de la Federación (2023a). *Decreto por el que, por causa de utilidad pública, se declara zona de reserva minera de litio la denominada “Li-MX 1”*. Secretaría de Gobernación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5680091&fecha=18/02/2023#gsc.tab=0
- (2023b). *Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley Minera, de la Ley de Aguas Nacionales, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en materia de concesiones para minería y agua*. Secretaría de Gobernación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5688050&fecha=08/05/2023#gsc.tab=0
- (2022a). *Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Minera*. Secretaría de Gobernación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5649533&fecha=20/04/2022#gsc.tab=0
- (2022b). *Decreto por el que se crea el organismo público descentralizado denominado Litio para México*. Secretaría de Gobernación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5662345&fecha=23/08/2022#gsc.tab=0
- Future Smart Strategies (2020). *A lithium industry in Australia: A value chain analysis for downstreaming Australia's lithium resources*. West Perth. Association of Mining and Exploration Companies. https://www.amec.org.au/wp-content/uploads/2020/01/A_Lithium_industry_in_Australia.pdf
- Gobierno de Chile (2023). *Estrategia Nacional de Litio*. Gobierno de Chile. <https://www.gob.cl/litioyochile/>
- Financial Times (2023). Can Europe go green without China's critical minerals? *Financial Times*, 19 de septiembre. <https://ig.ft.com/rare-earths/>
- Frost, N. (2023). Australia Tries to Break Its Dependence on China for Lithium Mining. *New York Times*, 23 de mayo. <https://www.nytimes.com/2023/05/23/business/australia-lithium-refining.html>
- Future Smart Strategies (2020). *A lithium industry in Australia: A value chain analysis for downstreaming Australia's lithium resources*. West Perth. Association of Mining and Exploration Companies. https://www.amec.org.au/wp-content/uploads/2020/01/A_Lithium_industry_in_Australia.pdf

Ministerio de Economía de Argentina (2021). *Litio y su potencial para el desarrollo minero argentino*. Secretaría de Minas. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/litio_y_su_potencial_para_el_desarrollo_minero_argentino._vf._2021-1.pdf

Secretaría de Economía (2020). *Tratado México-Estados Unidos-Canadá*. Secretaría de Economía. <https://www.gob.mx/t-mec/acciones-y-programas/textos-finales-del-tratado-entre-mexico-estados-unidos-y-canada-t-mec-202730?state=published>

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2023). *Proyecto de Presupuesto de Egresos de la Federación 2024*. SHCP. <https://www.ppef.hacienda.gob.mx/es/PPEF2024/introduccion>

Statista (2022). Ranking de los principales países productores de litio a nivel mundial en 2022. *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/600308/paises-lideres-en-la-produccion-de-litio-a-nivel-mundial>

El litio, mineral estratégico para la transición energética

Napoleón Gómez Urrutia



Senador de la República. Licenciado en Economía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Continuó su formación académica en la Universidad de Oxford, donde obtuvo los grados de maestro y posteriormente estudios de doctorado en Economía. Ha sido reconocido por diversas organizaciones en materia de procuración y defensa de derechos humanos, sociales y laborales. Recibió el Premio Internacional Meany Kirkland en Derechos Humanos otorgado por la Federación Americana del Trabajo y el Congreso de Organizaciones Industriales; la Medalla de Oro otorgada por The Independent Publisher Book Awards de Nueva York por la publicación de su libro *El colapso de la dignidad*, entre otras.

Actualmente se desempeña como presidente de la Comisión de Trabajo y Previsión Social así como integrante de las comisiones de Economía, Energía, Minería y Desarrollo Regional y Relaciones Exteriores en el Senado. Ha publicado varios textos y libros como *Antes de la próxima revolución* (2006); el bestseller de The New York Times, *El colapso por la dignidad* (2019) y *El triunfo de la dignidad* (2021)..

Resumen

La categoría de *mineral estratégico* se aplica cuando el producto material no renovable es esencial para el desarrollo económico, político y social de una nación. El litio, gozando de esta cualidad, está protegido en México acorde al impacto que a corto, mediano y largo plazo produce su explotación, de tal suerte que se minimicen las desventajas y se promuevan sus ventajas. Entre los retos pendientes está mejorar la legislación en el tema, establecer marcos normativos para las concesiones existentes y la metodología futura de exploración y explotación, cuya responsable es la recién creada empresa *LitioMx*. En esa línea, la discusión pública so-

bre este tema ha fallado en considerar adecuadamente la importancia de quienes extraen y conocen este mineral: las y los trabajadores mineros. Las estrategias integrales para aprovechar este recurso deben incluir a la clase trabajadora con experiencia en este sector, convirtiéndose en una oportunidad histórica de transformación en la actividad minera y en el país entero

Palabras clave: Transición energética, sustentabilidad, seguridad energética, mineral estratégico, Ley de Transición Energética y trabajadores mineros.

Abstract

The strategic mineral category is applied when the non-renewable material product is essential for economic, political, and social development. Due to lithium's exploitation impact in the short, medium, and long term, Mexico seeks to minimize its disadvantages and promote its advantages. Among the pending challenges are improving legislation on the subject, establishing regulatory frameworks for existing concessions, and the future exploration and exploitation methodology for which the newly created company Litiomex is responsible. Along these lines, the public discussion on this issue has failed to adequately consider the importance of the mining workers who extract and comprehend this mineral. Comprehensive strategies to take advantage of this resource must include the working class with experience in this sector, becoming a historic opportunity for transformation in mining activity and the entire country.

Keywords: Energy transition, sustainability, energy security, strategic mineral, Energy Transition Law and mining workers.

El litio, como mineral estratégico, empezó a tomar relevancia en la discusión pública a nivel nacional e internacional en las últimas décadas, a medida que aumentó su demanda para ciertas tecnologías como vehículos eléctricos, baterías y pilas principalmente. En el contexto mexicano, la relevancia ha aumentado por la presencia de importantes yacimientos de litio en el territorio.

En los años noventa, y a inicios de este siglo, el mineral ya se empleaba en baterías recar-

gables, pero su uso no era tan extendido como en la actualidad. En la década del 2010, la creciente popularidad de vehículos eléctricos y la llamada *transición energética* hacia fuentes de energía más limpias, aumentaron su demanda. A nivel internacional, el litio comenzó a ser reconocido como un recurso crítico. México, al igual que otros países con reservas de litio, empezó a considerar con mayor seriedad su importancia estratégica. Los esfuerzos se centraron en la exploración de yacimientos y en la identificación de oportunidades para desarrollar una cadena de valor en torno a éste.

Frente a la pandemia de covid-19 y la creciente conciencia sobre la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se aceleró la adopción de vehículos eléctricos para solucionar la movilidad y los sistemas de almacenamiento de energía a nivel global, fortaleciendo la posición del litio como *mineral estratégico*. En nuestro país, su importancia en la discusión pública se vincula a los esfuerzos para desarrollar una industria de litio nacional que sea sostenible y baja en carbono.

Los avances han mostrado los retos existentes en este tema, por lo cual, este trabajo de investigación pretende responder a algunas cuestiones pertinentes en el avance de dichos desafíos. Por una parte, es importante analizar críticamente términos como *transición energética*, *mineral estratégico* y *sustentabilidad*, pues presentan problemas relevantes en la creación de una política pública adecuada para su manejo. Por otra parte, la creación de un proyecto integral debe considerar el marco internacional, cuidando respetar las especificidades locales y regionales. Por último, este texto enfatiza en la reivindicación y pleno reconocimiento a las y los trabajadores mineros, ya



que se espera que se eviten diversos abusos, injusticias y violaciones a sus contratos o derechos laborales y sindicales.

El litio en la *transición energética*: panorama y problemáticas

Quizá el distintivo más importante del litio es su categoría de *estratégico*. En el artículo “*Métaux stratégiques: la clairvoyance chinoise*” de Grekou Bonnet *et al.* (2022), se sugiere que dicha categoría se emplea cuando un Estado o una empresa considera esencial para su política económica o política energética, proteger la soberanía y los recursos medioambientales o un determinado mineral.

En ese marco, la discusión sobre la jerarquización de ciertos recursos naturales, sobre todo aquellos necesarios para producir energía, se circunscribe a las tendencias en la llamada *transición energética*. De acuerdo con Aleida Azamar Alonso, en su artículo “*El mito de la transición energética y la importancia del litio*” (2022), “una transición energética es el cambio en la forma de aprovisionamiento de energía primaria mediante el cual el sistema productivo y económico garantizan su funcionamiento futuro”. Por tanto, en el camino hacia esta transformación toma protagonismo cualquier cambio significativo que altera los patrones del uso de energía en las sociedades.

Ahora, las modificaciones a las tendencias de consumo son provocadas bajo procesos

controlados que avanzan en la técnica para reemplazar la energía primaria de combustibles fósiles por una de recursos renovables, que aún pueda sostener un nivel de servicio suficiente per cápita. El Foro Económico Mundial (WEF, 2018, p. 10) puntualiza que la efectividad de una *transición energética* se mide en su tendencia a articular un sistema energético global más accesible, inclusivo, con sostenibilidad y con mayor seguridad, “que brinda soluciones a los desafíos globales relacionados con la energía, al mismo tiempo que crea valor para las empresas y la sociedad, sin comprometer el equilibrio del triángulo energético”.

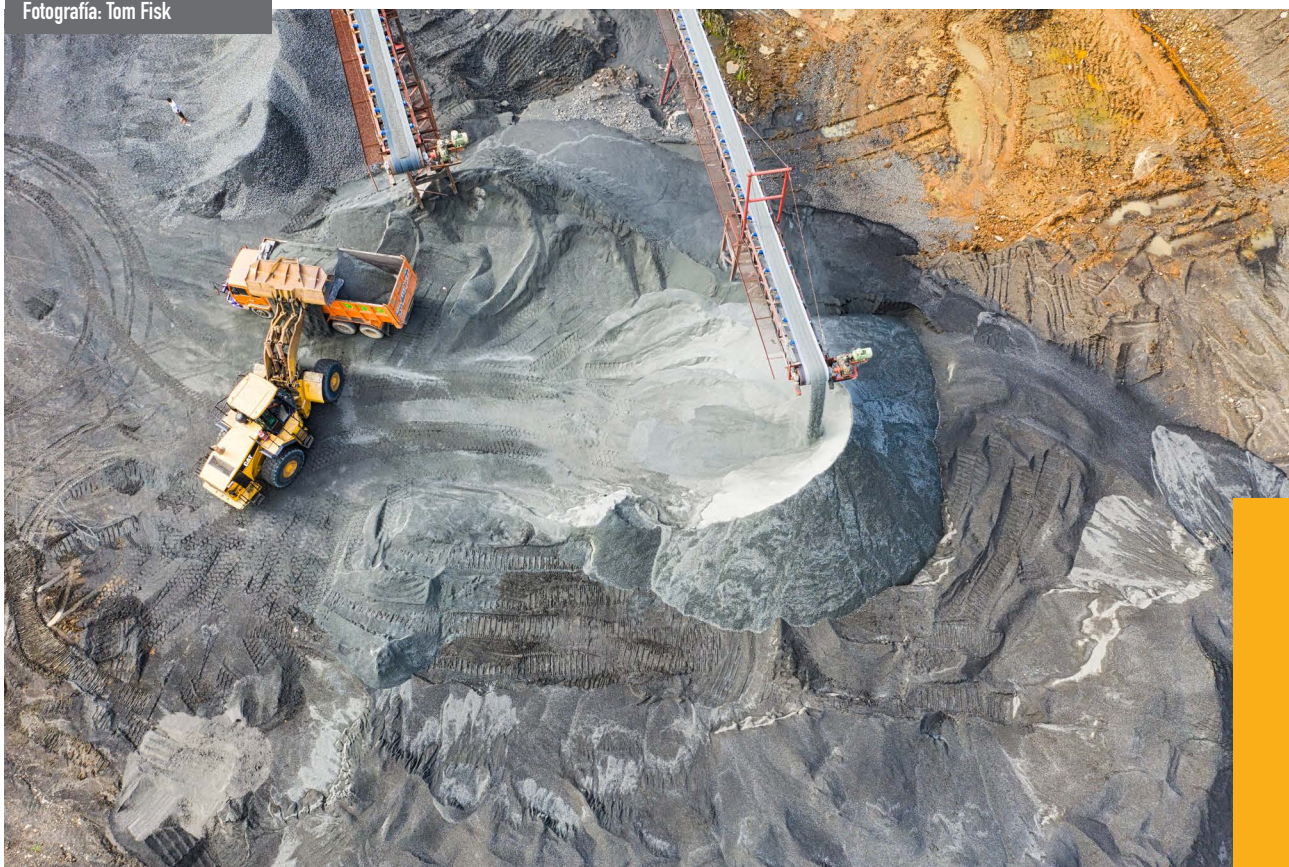
Históricamente, la noción de *transición energética* se ha enfrentado a la polivalencia interpretativa, primariamente porque se produce desde una propuesta política para enfrentar los retos de carencia energética percibidos como una amenaza para Estados Unidos en los años setenta del siglo XX. El término se menciona por vez primera en un discurso del entonces presidente Jimmy Carter, con la intención de preparar a su nación para la tercera transición energética de la historia humana: una realidad más allá del petróleo. Rápidamente, esta perspectiva se extendió y fue adoptada por políticos de otros países y representantes de instituciones como la Organización de las Naciones Unidas. Se enfatizó la urgencia de un proyecto colectivo para transitar ordenadamente y sin mayor impacto.

En esa coyuntura, las secuelas del choque petrolero de 1979 llevaron a la discusión sobre los pasos a realizar para garantizar la seguridad energética sin los hidrocarburos. Uno de los problemas de las conclusiones y acuerdos de esos años es que se trataba más de estrategias y diagnósticos que beneficiaban al mercado y a la iniciativa privada, por encima no sólo de los

Estados, sino de las comunidades afectadas por estos cambios. Además, el listado de alternativas energéticas era inaccesible para muchas naciones por cuestiones geológicas, o no eran en sí energías renovables, y la inversión requerida para ellas era demasiado grande.

Es posible sugerir que si bien, y frente a la crisis ambiental que atravesamos, la noción incluye tendencias deseables como la *sustentabilidad* y se centra en asuntos de seguridad y garantía energética, es necesario revisar sus puntos ciegos para que sea genuinamente efectiva. En principio, las observaciones de muchos organismos internacionales se hacen en términos globales, ignorando las especificidades de los sistemas sociales y productivos de cada región. Las diversas barreras de acceso a los requisitos técnicos para transitar de acuerdo con la exigencia internacional, revelan que hay aspectos de la *transición energética* que son más bien medidas empresariales y económicas en las que se ignoran las condiciones de desarrollo y capacidad tanto de las localidades, como de las naciones y regiones. Por tanto, la esperanza de *sustentabilidad* no sólo no es alcanzada horizontalmente por la comunidad internacional, sino que la misma exigencia, en los marcos actuales, no es apta para muchos. Esto es relevante porque en la discusión sobre el litio como mineral estratégico, la *transición energética* es un elemento central, tanto para dirigir la explotación del mineral, como para proteger la soberanía nacional.

Siguiendo el texto de Azamar, en la Unión Europea, por ejemplo, las estrategias no han sido efectivamente favorables: desde el comienzo de la segunda década de este siglo se han enfrentado a crisis en los aumentos de costos en su generación de electricidad. Sus regulaciones



para alcanzar los marcos internacionales de la *transición energética* incrementaron el precio del gas natural, afectando directamente sus costos productivos, colocando a la población en una situación de verdadera crisis. Sin duda, es una pregunta pendiente para otra investigación qué tanto estos mecanismos abonan a la autonomía y soberanía de los pueblos, porque parecen producir relaciones de dependencia económica fundamentadas en la crisis, contrario a la búsqueda de estabilidad energética y sostenibilidad enunciada.

Entonces, es posible afirmar que se carece de los medios adecuados para una transición horizontal, sin generar riesgos de contaminación, económicos y sociales. Pensando en que, por un lado, los recursos no renovables se siguen empleando para fines energéticos y que,

por otro lado, los recursos naturales que “sustituirán” a las energías de hidrocarburos no todos son renovables. Atender críticamente a nuestras tendencias de aprovechamiento natural para producir energía es pertinente si se busca proteger nuestra biodiversidad y garantizar que, en México, la transición beneficie al pueblo genuinamente.

La demanda de varios minerales que sirven para cubrir las demandas de la *transición energética* se ha incrementado. El litio es uno de los recursos más importantes en la investigación de soluciones para la generación de energía, por ser necesario en la creación de procesos de almacenamiento energético, producción de baterías y en la industria automotriz. Dicha demanda ha generado riesgos y costos ambientales, particularmente en países del Sur

global que poseen grandes reservas y capacidad de extracción. Los discursos alrededor del litio se han construido sobre la ilusión de que puede ser un recurso transversal en el proceso de transición; sin embargo, este no es el caso.

Su categorización como *mineral estratégico* viene del análisis de la demanda de ciertos minerales para medir su disponibilidad, dependencia referida a los procesos de *transición energética* y el impacto en la cantidad de recurso accesible para las siguientes tres décadas. Se lo denomina como mineral de alto impacto, pues si bien no tiene un rango de uso muy amplio, es fundamental por su eficiencia en la producción de baterías, combustible, lubricante, aditivo, entre otros; por lo cual, se prevé un aumento inevitable en su demanda. Debido a que no hemos encontrado otro mineral para reemplazarlo, la exigencia mundial del recurso superará su disponibilidad. Y ahí, los países con grandes depósitos de litio y un nivel de industrialización más bajo, como los de América Latina, tendrán un papel sumamente relevante en el fortalecimiento de esta industria, pues se acelerará la competencia por invertir en su extracción.

El litio en Latinoamérica

¿Por qué América Latina desempeña un papel crucial en la industria del litio? Porque posee algunas de las mayores reservas de este mineral en el mundo; tan solo Chile, Argentina, Bolivia, México, Perú y Brasil acumulan el 61% del total de reservas conocidas. La región se enfrenta, sin embargo, a una problemática particular: la cadena productiva local y la capacidad tecnológica son limitadas, lo que ha llevado a la concesión de proyectos a empresas extranjeras (en su mayoría estadounidenses, chinas y ca-

nadienses). Aunque la industria del litio tiene un impacto económico positivo en estos países, su verdadero beneficio radica en la aplicación productiva para la fabricación de baterías de litio.

Un camino para fortalecer la industria del litio en América Latina y maximizar sus beneficios económicos es centrarse en desarrollar proyectos que aprovechen su capacidad de extracción y reduzcan la dependencia de componentes tecnológicos externos. También será necesario abordar la falta de una cadena productiva local que aproveche la transformación de estos recursos, además de promover la participación activa de los principales actores involucrados: trabajadores mineros, empresas y gobierno.

En el futuro, nuestro país tiene que tomar una decisión importante: ¿hacia dónde enfocaremos nuestra política pública respecto al litio? Para articular una propuesta integral, es útil acudir a las experiencias del Triángulo del litio. En Bolivia, por ejemplo, se pretende impulsar al sector público, por lo que la energía se concentra en la inversión y la apuesta por robustecer a las instituciones estatales. En Chile se enfocan en incrementar la renta minera e incentivar la inversión local. Observar qué ha tenido resultados positivos nos permite definir un marco para limitar adecuadamente la presencia de la iniciativa privada en el régimen especial para el litio (Ballesteros, 2022). En México aún no tenemos del todo claras las posibilidades de la expectativa de producción, por lo que hay diversas posibilidades respecto al papel que México puede asumir en el mercado internacional del mineral. Una política pública adecuada tendría en cuenta la generación de tecnologías y profesionistas capacitados para transformar el litio y satisfacer las necesidades de las y los usuarios (Aguirre, 2021).

Legislación mexicana sobre el litio y su nacionalización

La legislación mexicana ha avanzado para abordar la explotación del litio. En 2020 se publicó la Ley de Transición Energética, que reconoce al litio como un recurso estratégico y establece las bases para su regulación. Esta ley permite al gobierno mexicano involucrarse en la cadena de valor del litio, desde la extracción hasta la fabricación de productos finales. Además de que se han establecido medidas para garantizar la protección del medio ambiente y la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones.

En cuanto a la nacionalización, México ha optado por un enfoque mixto. Aunque el gobierno ha mostrado interés en mantener el control sobre los recursos estratégicos, también reconoce la importancia de la inversión privada para el desarrollo de la industria del litio. Esto se refleja en la creación de LitoMx, una empresa estatal encargada de promover la explotación responsable del litio y fomentar la inversión nacional e internacional en el sector.

Retos de LitoMx

LitoMx, como empresa estatal, enfrenta varios desafíos en su misión de desarrollar la industria del litio en México. Uno de los principales es garantizar la inversión necesaria para la exploración y explotación de yacimientos, así como para la construcción de plantas de procesamiento y fabricación de baterías. La empresa debe encontrar un equilibrio entre la inversión pública y la participación del sector privado.

Los retos son relevantes, pues su creación se da en medio del incremento en la demanda

del mineral y, por lo tanto, es necesario analizar detenidamente los procesos internos que se emplearán en esta empresa estatal para un funcionamiento eficaz, eficiente y honesto. Lo que se busca, entonces, es una empresa productiva, transparente, respetuosa de los derechos de las comunidades y la naturaleza (Ballesteros, 2022). En ese marco, es responsabilidad del Estado disminuir riesgos con un diseño pertinente de organismos reguladores y vigilantes.

El litio frente a la Reforma a la Ley Minera de 2022

La Reforma a la Ley Minera de 2022 modificó artículos para crear un régimen especial para el litio, distinto al resto de los minerales. Ahí se estableció que la exploración, explotación y aprovechamiento de este mineral son actividades de utilidad pública, por tanto, exclusivas del Estado; sin embargo, no se establece un régimen transitorio que otorgue mayor claridad respecto a las concesiones ya otorgadas. La intención del Ejecutivo es dar revisión a los contratos vigentes, para verificar el pleno cumplimiento de los compromisos. Esto nos coloca frente a un doble régimen para el mineral (Ballesteros, 2022), para el cual, en la figura de las concesiones ya otorgadas, corresponde la regulación y vigilancia de la Secretaría de Economía; pero en el horizonte de exploraciones y la explotación del recurso, posterior a la reforma, es necesario desarrollar un marco normativo específico que maximice los beneficios, reduzca los riesgos y evite el daño al ecosistema y las comunidades.

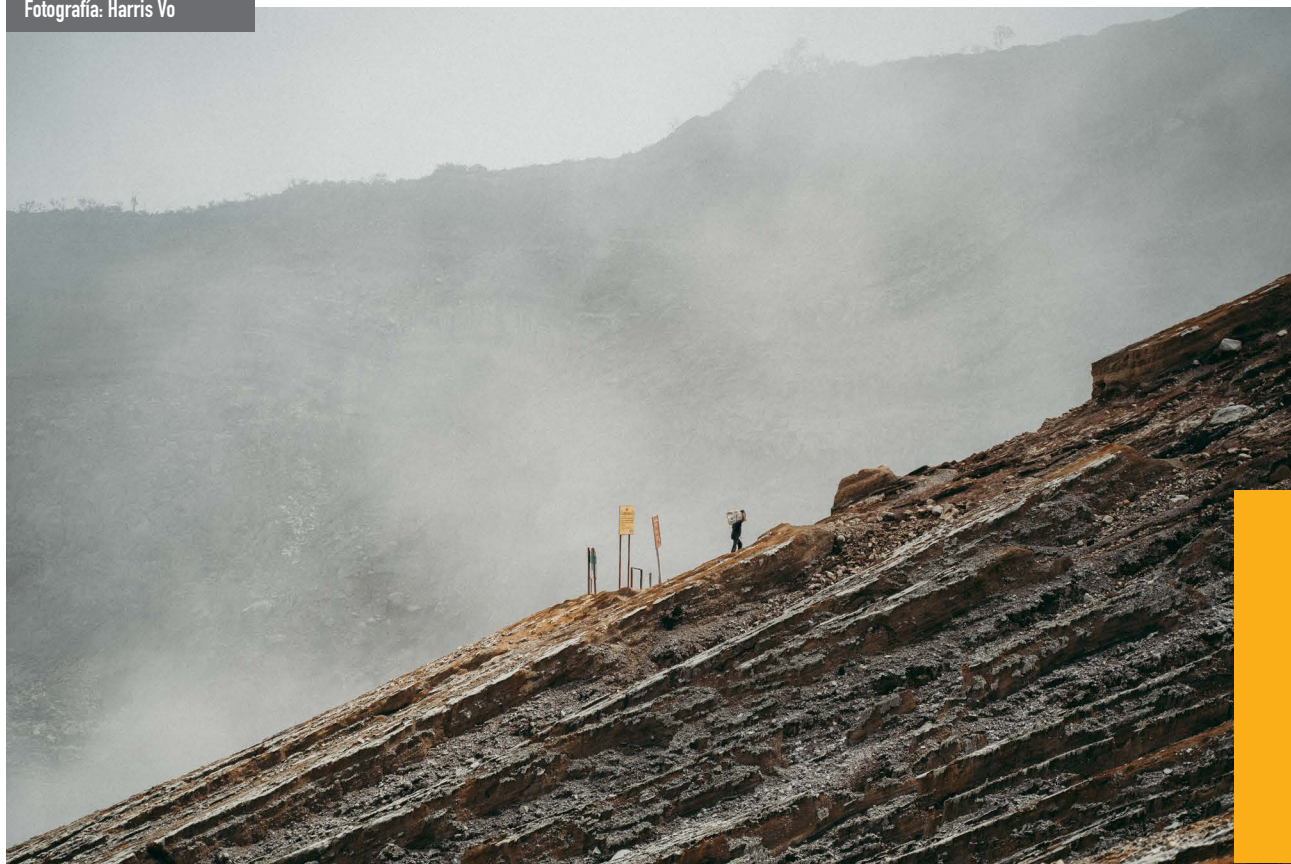
La alta demanda de minerales para la *transición energética* presenta una oportunidad histórica que eleva las actividades de control del litio y de la minería en nuestro país. Según el

Índice de Gobernanza de Recursos Naturales de NRGI, este sector carece de gobernanza suficiente, con una calificación debajo de lo que se considera satisfactorio, con una evaluación global en el sector minero de 59 puntos (NRGI, 2021, p. 1). Si bien, el sector minero carece de un marco normativo adecuado para realizar estudios de impacto social y, aunque los de impacto ambiental existen, no son difundidos de manera democrática al público o, en caso de serlo, no tienen un seguimiento adecuado para garantizar su cumplimiento.

Asimismo, México precisa centrar recursos en un proceso de industrialización para el litio, de tal suerte que no suceda lo que en otras naciones. Por ejemplo, en Chile, el segundo productor más grande de litio, el metal se extrae, principalmente, a través de la evaporación de

salmueras. Este método requiere demasiada agua, pues es necesario que los mineros bombreen el líquido salado que contiene litio (salmuera) en enormes estanques para que, por evaporación, se separe el litio. Esta técnica depreda los escasos recursos hídricos de la región, dañando los humedales y perjudicando a las comunidades. Además, las y los habitantes de las comunidades impactadas por la minería de litio demandan que los recursos no se quedan en el país, sino que se dirigen al Norte global, a costa de su calidad de vida y de trabajo de los mineros. Encaminarnos hacia una industrialización adecuada y pertinente para el aprovechamiento del mineral garantizaría un verdadero impacto económico y social positivo para México.

Fotografía: Harris Vo



En esa línea, una apropiada planificación estatal nos evitaría estar sujetos a las cotizaciones internacionales, asegurando precios rentables si existiera escasez del recurso. Una estrategia planeada por y para México genuinamente contribuiría a las metas internacionales de *transición energética* y al desarrollo pleno del país y de toda la población.

¿Y las y los trabajadores mineros?

Es crucial que se garantice una actividad minera y productiva del litio libre de abusos, corrupción, impunidad, injusticias y violaciones a los derechos humanos. En efecto, la crítica hacia la *sustentabilidad* de la *transición energética* se relaciona con la falta de claridad categorial de este término frente a las diferencias regionales. Empero, una deficiencia del análisis crítico es la ausencia del papel de las y los mineros cuando hablamos de sustentabilidad. Es un error no considerar que los impactos a la clase trabajadora no constituyen debilidades en cumplir el objetivo de una transición provechosa y productiva. **Es imposible la exploración, extracción y transformación del mineral sin la presencia y pleno reconocimiento de las y los trabajadores mineros, quienes a diario impulsan un sector progresista, novedoso, de calidad y a la vanguardia.**

Detecto en el discurso público, entonces, una falta de reconocimiento a las y los compañeros mineros. La discusión abstracta sobre “el cumplimiento de los derechos laborales” tiene

el mismo defecto conceptual que la *transición energética* o la *sustentabilidad*: las cuales se enuncian, en términos globales, lejos de las particularidades de cada comunidad, país y región. Al no poner al trabajador al centro de una discusión y planeación de política pública que le compete directamente, perdemos la perspectiva de quienes están dentro de las minas. Lo anterior abre la posibilidad a ignorar y, por tanto no legislar apropiadamente para dar solución a sus demandas, problemáticas y constantes luchas frente a los abusos que muchas empresas mineras continúan realizando en nuestro país.

Entonces, la ausencia de reconocimiento a la clase trabajadora produce un efecto de inestabilidad en el sector.

Afortunadamente, la Reforma a la Ley Federal del Trabajo de 2019 trajo modificaciones importantes en materia de libertad y democracia sindical, tal como el capítulo del T-MEC dedicado al tema laboral que nos permite usar herramientas como el *Mecanismo Laboral de Respuesta Rápida*, para resolver conflictos y demandar el cabal cumplimiento de los derechos y los contratos colectivos, además de acceder a una justicia laboral sustantiva; sin embargo, es cierto que los sectores minero, político y empresarial, tienen deudas históricas con las y los trabajadores, quienes no están en el lugar de relevancia que merecen.

Como es de dominio público, entre los desafíos del sector en materia laboral está la presencia de sindicatos *charros* que no defienden los intereses reales de la clase trabajadora. Además, la ausencia de una representación sindi-

cal auténtica y democrática produce pérdidas en cuanto a salarios y prestaciones. Asimismo, es urgente mejorar las condiciones de higiene y seguridad en las minas: en muchas ocasiones, con tal de sostener una productividad superior a las capacidades tecnológicas y de mano de obra, se explota a la fuerza laboral, poniendo en riesgo su integridad y, en desafortunadas ocasiones, su vida.

Por tanto, no sólo el litio es un mineral estratégico esencial en la *transición energética* que necesitamos para preservar la naturaleza y frenar la crisis climática: las y los trabajadores mineros son agentes protagónicos en este proceso de transformación y deben ser reconocidos como tal.

Consideraciones finales

A lo largo de este trabajo se analizaron críticamente términos sumamente relevantes para el estudio e implementación de estrategias que protejan la soberanía energética y natural de México. En principio, la riqueza de litio que posee nuestro territorio lo coloca como un país central en la llamada *transición energética*; sin embargo, dicha noción debe ser examinada, porque su aplicación directa y de acuerdo con los estándares de globalización produce mayor desigualdad. La *transición energética* es la apuesta de la comunidad internacional por desplazarnos hacia el uso de energías limpias, a saber, alejarnos de las energías que emplean recursos naturales no renovables como los derivados del petróleo o del carbón. Empero, el acceso a tecnologías que permiten estas energías más ecológicas no es horizontal en todas las naciones del mundo. Por otro lado, las particularidades culturales, políticas y territoriales afec-

tan las posibilidades energéticas de los países. En esa línea, la *transición energética* a nivel global resulta imposible sin la cooperación internacional tanto a nivel económico y comercial como a nivel cultural para transformar nuestro paradigma a uno de protección de los recursos naturales.

Ahora, esa ineludible interdependencia puede rápidamente convertirse en extractivismo si sólo consideramos las relaciones económicas y no el objetivo común, que es proteger al medio ambiente, los recursos y las comunidades. Por tanto, ha sido necesario que las naciones ricas en los llamados *minerales estratégicos*, a saber, aquellos esenciales para el desarrollo, legislen en pro de su protección y, como es nuestro caso, de su nacionalización, pues los recursos son sólo patrimonio de las y los mexicanos. El futuro energético depende, en buena medida, de que no permitamos prácticas extractivistas. En esa coyuntura, México tiene el importante reto de consolidar una institución, LitioMx, que sea genuinamente efectiva no sólo en la protección del litio, sino en su producción y aprovechamiento para que contribuya al crecimiento económico a través de prácticas sustentables y dignas para quienes operan dentro de ella. Además, para evitar que el litio caiga, como muchos otros casos de la actividad minera, en una explotación irracional de los recursos naturales y de la mano de obra.

Precisamente, para cerrar con estas consideraciones, es importante señalar que la *sustentabilidad* no puede sólo referirse a la práctica pragmática de sostener la explotación de los recursos naturales cuidando cierto equilibrio natural; también se relaciona con el lugar que damos a las y los trabajadores mineros en estos procesos de modernización y cambios

en los consumos y producción de energía. **En efecto, la pretensión de tener energía de calidad, accesible tanto económica como en materia de infraestructura por todas las y los mexicanos, sería imposible sin la ardua y profesional labor de las y los mineros, y otros sectores de la fuerza laboral que colaboran en estos procesos.** Es por eso que, bajo estos momentos históricos de transformación que estamos viviendo, debemos reivindicar y reconocer el incansable trabajo de millones de mujeres y hombres que a diario permiten que México crezca, se desarrolle y sea una nación próspera y fuerte.

Referencias

- Aguirre, J. (2021). Regulación del litio: propuestas y comparativa internacional. *Mirada Legislativa*, 203 (mayo). Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República, 1-13.
- Azamar, A. (2022). El mito de la transición energética y la importancia del litio. En Azamar, A. (ed.). *Litio en América Latina. Demanda global contra daño socioambiental*. Universidad Autónoma Metropolitana, 25-55.
- Ballesteros, F. (2022). *Perspectivas para el litio en México después de las reformas a la Ley Minera*. Natural Resource Governance Institute, 1-9. https://resourcegovernance.org/sites/default/files/documents/litio_en_mexico_y_reforma_minera_0.pdf
- Natural Resource Governance Institute (2021). *Índice de Gobernanza de los Recursos Naturales México*. Natural Resource Governance Institute, 1-8. https://resourcegovernance.org/sites/default/files/documents/indice_de_gobernanza_de_los_recursos_naturales_2021_mexico_mineria.pdf
- T. Bonnet, C. Grekou, E. Hache y V. Mignon (2022). Métaux stratégiques: la clairvoyance chinoise. *Lettre du CEPII*, núm. 428.
- World Economic Forum (2018). *Fostering Effective Energy Transition. A Fact-based Framework to Support Decision-Making. With analytical support from McKinsey & Company*. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/oil%20and%20gas/our%20insights/a%20of%20framework%20for%20fostering%20effective%20energy%20transitions/fostering-effective-energy-transition.pdf>

Perspectivas del litio en el altiplano potosino-zacatecano: impacto socioeconómico y ambiental en tierras ejidales

Elena del Rosario Patiño Flota



Doctora en Derecho por el Instituto Internacional del Derecho y del Estado. Actualmente, ejerce como presidenta de las Academias de Derecho Sustantivo Agrario y Derecho Procesal Agrario en la Unidad Académica de Derecho de la Benemérita Universidad Autónoma de Zacatecas. Además, se desempeña como docente investigadora y coordina la asesoría en Materia Agraria en el Bufete Jurídico Social de esta institución. A lo largo de su carrera, ha destacado como autora de numerosas publicaciones, incluyendo diversos ensayos y memorias, y ha participado como ponente en diversos congresos nacionales e internacionales de Derecho Agrario.

Ezra Uriel Haro Patiño



Arqueólogo egresado de la Unidad Académica de Antropología de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Posee una maestría en arqueología por El Colegio de Michoacán, y actualmente se encuentra cursando su doctorado en Ciencias Sociales en el Centro de Estudios Rurales de la misma institución. Su principal área de interés es el estudio de la sal y su relevancia en las épocas prehispánica, colonial y actual. En particular, su enfoque se centra en el valle de El Salado, ubicado en el Altiplano Potosino-Zacatecano, una región salinera con una rica herencia cultural que aún permanece en gran parte desconocida histórica y arqueológicamente.

Resumen

En el altiplano potosino-zacatecano, rico en litio y sulfato de potasio en sus lagunas, surge un dilema entre los derechos de propiedad de las comunidades locales y la necesidad de aprovechar este recurso estratégico en la industria global y la transición hacia energías más limpias. Este artículo analiza las implicaciones sociales, económicas y ambientales de la explotación del litio

en esta área cercana a los ejidos. Se exploran posibles conflictos entre los derechos de propiedad social y la extracción de litio, así como consideraciones cruciales para una gestión justa y sostenible. El objetivo final es proporcionar una perspectiva integral para la toma de decisiones que lleven a políticas que armonicen intereses comunitarios, industriales y ambientales en esta explotación de litio en México.

Palabras clave: Ejido, Litio, San Luis Potosí, Zacatecas.

Abstract

In the Potosino-Zacatecano highland, rich in lithium and potassium sulfate in lagoons, a dilemma arises between the property rights of local communities and the need to harness this strategic resource in the global industry shift towards cleaner energy sources. This article examines the social, economic, and environmental implications of lithium exploitation in this area near the communal lands. Possible conflicts between social property rights and lithium extraction are explored, along with crucial considerations for fair and sustainable management. The ultimate goal is to provide a comprehensive perspective for decision-making and policies that harmonize community, industrial, and environmental interests in this lithium exploitation in Mexico.

Keywords: Ejido, Lithium, San Luis Potosí, Zacatecas.

El ejido

La extensión del territorio nacional es de 196.4 millones de hectáreas aproximadamente. En el artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se señala textualmente que: “La propiedad de las tierras, bosques y aguas, comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada”.

En México, existen tres grandes formas de tenencia de la tierra: la propiedad pública, la

propiedad privada y la propiedad social. Fue en el año 1915, en plena Revolución, cuando el Estado implementó un conjunto de estrategias como respuesta política y social a la situación de los campesinos. Esto quedó plasmado en la Ley del 6 de enero de 1915, promulgada por el entonces presidente de la república, Venustiano Carranza (José Venustiano Carranza de la Garza), quien reconoció la existencia de grandes extensiones territoriales acaparadas por una minoría en esas décadas. Estas extensiones correspondían a las grandes haciendas o latifundios y motivaron la instauración de una nueva estructura agraria en México, dando lugar a la propiedad social.

La Reforma Agraria en México, originada en la Revolución mexicana, fue un proceso que se desarrolló en tres etapas o fases. La primera de ellas fue **el Reparto Agrario**, que inició con la Ley del 6 de enero de 1915. Ésta se expandió por todo el territorio nacional mediante acciones como la Restitución, la Dotación, la Ampliación y la creación de Nuevos Centros de Población Ejidal (NCPE). Estas acciones implicaron la fragmentación de grandes propiedades improductivas, como haciendas y latifundios. Dicha fase concluyó a finales de 1991, cuando el entonces presidente de la República, Carlos Salinas de Gortari, anunció el fin del reparto agrario, informando que ya no existían más tierras por repartir.

La segunda etapa, conocida como Ordenamiento de la Propiedad Social, se inició en 1993 y continúa vigente hasta nuestros días. A partir de las reformas al artículo 27 constitucional y la promulgación de la Ley Agraria, se estableció un nuevo marco legal que buscó promover el desarrollo rural mediante el ordenamiento y la regularización de la propiedad social. Esto se llevó a cabo a través del Programa de Certifica-

ción de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (Procede), ofrecido por el Gobierno Federal a ejidos y comunidades para brindarles certeza y seguridad jurídica en la tenencia de la tierra.

En este programa participaron diversas instituciones. La Secretaría de la Reforma Agraria (SRA) coordinaba el programa, mientras que la Procuraduría Agraria (PA) explicaba a los ejidatarios las ventajas del mismo. El mayor beneficio de aceptar la certificación, medición o regularización de su ejido era la obtención de certeza y seguridad jurídica documental de manera gratuita. Por su parte, el INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) tuvo la función específica de ubicar, identificar y medir los linderos y superficies de las tierras ejidales y comunales, así como de generar los productos cartográficos y bases de datos correspondientes

que sustentaron la certificación y titulación de las tierras. Este programa concluyó en el año 2006.

Posteriormente, se creó el Programa FANAR (Fondo de Apoyo Para Núcleos Agrarios sin regularizar, medir o certificar), el cual comenzó en el año 2007. Su objetivo era continuar con la certificación de los ejidos y comunidades que no habían participado en el Procede. Este programa, a cargo del Registro Agrario Nacional y coordinado por la Procuraduría Agraria y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, ofrecía certeza y seguridad jurídica documental de manera gratuita. Para acceder a este programa, se debía presentar una solicitud por escrito al Registro Agrario Nacional o a la Procuraduría Agraria. Las mediciones de las tierras eran realizadas por brigadas de medición, que acudían únicamente a petición expresa del

Fotografía: Gautier Pfeiffer



representante del ejido o comunidad, ya sea el Comisariado Ejidal o el Comisariado de Bienes Comunales, según correspondiera.

Finalmente, en el año 2016 se instituyó el Programa RRAJA (Programa de Regularización y Registro de Actos Jurídicos Agrarios y de ordenamiento y certificación territorial), considerado el programa de certificación más importante del sector agrario. Este programa, de carácter interinstitucional, estuvo a cargo del Registro Agrario Nacional y la Procuraduría Agraria.

En la actualidad, la Propiedad Social, compuesta por Ejidos y Comunidades Agrarias, sigue siendo la forma de tenencia de tierras más extensa en México. Según datos del Registro Agrario Nacional, más de 100 millones de hectáreas están bajo este régimen, de las cuales 91 millones han sido regularizadas. En estas tierras se encuentran tres cuartas partes de la biodiversidad y de los bosques y selvas del país, así como dos terceras partes del agua y el 60% de los litorales. Existen un total de 32 202 núcleos agrarios, de los cuales 29 690 son ejidos y 2 392 son comunidades. El número de sujetos agrarios de núcleos agrarios certificados es de 5 014 053, mientras que los no certificados suman 348 658, lo que nos da una idea de la magnitud de este régimen.

El respaldo documental de la propiedad de estas tierras se encuentra en el Registro Agrario Nacional, también conocido como Catastro Rural. Este órgano registral, de acuerdo con lo establecido en el artículo 148 de la Ley Agraria, se encarga del control de la tenencia de la tierra y la seguridad documental derivada de la aplicación del Ordenamiento Legal mencionado. Funciona como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU).

La tercera etapa se denominó Desarrollo Rural Integral, que implica diversas variantes; de las más importantes y trascendentes son, que en la fracción XIX del artículo 27 Constitucional se asentó textualmente:

Con base en esta Constitución, el Estado dispondrá las medidas para la expedita y honesta impartición de la justicia agraria, con objeto de garantizar la seguridad jurídica en la tenencia de la tierra ejidal, comunal y de la pequeña propiedad, y apoyará la asesoría legal de los campesinos.

Nacieron entonces los Tribunales Agrarios que dirimen los conflictos agrarios relacionados con la propiedad social, y se estableció un órgano para la procuración de justicia: la Procuraduría Agraria.

Cuando inició el reparto agrario en México, en el año 1915, y se crearon los ejidos para darle un medio de subsistencia al grueso de población, principalmente campesina, se impusieron una serie de limitaciones, prohibiciones o restricciones. Es importante recordar que los ejidatarios eran meros usufructuarios, no propietarios. Tenían la obligación de trabajar las tierras que les fueron dotadas (parcelas) personalmente o con su familia, y no permitir la presencia de aparceros o medieros. Si en dos años consecutivos no sembraban las tierras, se les privaban sus derechos, entre otras restricciones. Con el fin del reparto agrario en 1992 y la certificación de los ejidos, se fomentó la inversión de particulares. Los ejidatarios, al poseer un certificado parcelario que detalla información sobre la parcela asignada, generaron confianza en los inversionistas. Se implementaron políticas que promovieron el desarrollo sostenible, y las restricciones que

tenían las parcelas ejidales fueron eliminadas. La Ley Agraria vigente, a partir de 1992, establece que las parcelas ejidales, anteriormente imprescriptibles e inalienables, pueden ser enajenadas con ciertas restricciones.

Lo más sorprendente es lo dispuesto en el artículo 23 fracción IX de la Ley Agraria, que trata sobre la competencia de la Asamblea: "IX. Autorización a los ejidatarios para que adopten el dominio pleno sobre sus parcelas..." Esto significa que las tierras parceladas pueden salir del régimen ejidal y pasar a ser propiedad privada si así lo decide la asamblea de ejidatarios, convocada debidamente por el Comisariado Ejidal del núcleo agrario correspondiente para tomar esa decisión.

No obstante lo anterior, la privatización de los ejidos a nivel nacional, afortunadamente, no ha prosperado ni se ha generalizado, pues la propiedad social continúa siendo la que tiene mayor superficie hasta la actualidad.

Ahora, pasemos a comprender la importancia del litio como recurso estratégico, el cual se encuentra en arcillas o lagunas saladas, y está inevitablemente asociado tanto directa como indirectamente a esta forma de propiedad social.

Desafíos en la explotación de litio

Es importante abordar el impacto ambiental y la sostenibilidad en relación con la explotación del litio, dado que los métodos de producción varían según el tipo de litio presente en diversas regiones de México.

A nivel global, se han identificado tres tipos de yacimientos de litio: en pegmatitas, en salmueras y en arcillas litíferas. Las pegmatitas contienen litio en su forma primaria y están ubi-

cadadas dentro de las llamadas rocas ígneas intrusivas (SE, 2020, p. 8). La recuperación del litio de estos yacimientos implica procesos de concentración relativamente elevados, seguidos de etapas como la calcinación, disolución, precipitación y refinamiento, entre otros (Parga, 2021).

Las salmueras representan los yacimientos más accesibles para la explotación, ya que el litio se encuentra disuelto en forma de salmuera en el manto freático salino. La recuperación del litio implica principalmente la extracción de esta agua salada desde el acuífero y su deposición en piscinas o eras construidas en el lecho de la laguna, permitiendo la evaporación del agua para la cristalización de las diferentes sales y su posterior refinamiento (Parga, 2021; SE, 2020, p. 6).

Aunque existen yacimientos de litio en arcilla, como en el conjunto de arcillas con litio de la mina de Bacadehuachi en Sonora, la extracción de litio de estas arcillas conlleva procesos como la calcinación para volver soluble el litio, lo que implica costos significativos y, en algunos casos, la utilización de lixiviación ácida (con ácido sulfúrico) con notables repercusiones ambientales (REMA, 2023, p. 50).

El litio encontrado en las lagunas del altiplano potosino-zacatecano, corresponde al de salmueras¹ y en arcillas, mismos que se encuentran en casi la totalidad de lagunas saladas ubicadas en aquel valle denominado El Salado, de las cuales se han muestreado cerca de 40 lagunas salinas (Parga, 2021).

1 Según el propio Servicio Geológico Mexicano, la laguna que contiene la mayor cantidad de litio en salmuera es la llamada Hernández con 26 ppm, ubicada en el municipio de Santo Domingo, San Luis Potosí (SGM, 2010, p. 12).



Las salmueras de estas lagunas presentan una concentración de litio relativamente baja (“pobre”), por lo que, de explotarse, será necesario “preconcentrar” la cantidad de este mineral mediante la evaporación solar de las salmueras en piletas construidas sobre el lecho de los lagos, para posteriormente aprovechar esa salmuera concentrada en litio mediante otro proceso que cristalice esta salmuera con un contenido mayor de litio (Parga, 2023).

En los yacimientos de litio en arcillas encontrados en las lagunas saladas del altiplano potosino-zacatecano, aún no se ha determinado el tipo de arcilla que contiene el litio, pues usualmente este mineral se encuentra en una arcilla nombrada hectorita, no obstante, el análisis químico y de pruebas de laboratorio de miles de muestras procedentes de las lagunas del área de estudio, demuestran que efectivamente exis-

te litio en las arcillas locales, pero aún no se ha determinado el tipo de arcilla asociado al mismo (*op. cit.*).

Según el ingeniero José de Jesús Parga, para el aprovechamiento de las arcillas que contienen litio en el altiplano potosino-zacatecano, fue diseñado un esquema de producción minero, en el cual el proceso comenzaría con el minado de la arcilla litífera de las lagunas salobres mediante el método de minería a cielo abierto, para lo cual se utilizaría maquinaria pesada como los denominados cargadores para sacar dichas arcillas. Una vez extraída la arcilla, ésta es cribada y se separa el mineral para continuar con un proceso de molienda, disminuyendo su tamaño para proceder al tratamiento mediante la calcinación. Esta calcinación, a una temperatura de 950°C de la arcilla, hace que se produzcan sulfatos de litio y potasio principalmente. Después

se procede a la lixiviación de los compuestos con agua dulce a una temperatura de 90°C en un tanque de agitación, para el posterior filtrado de la solución enriquecida resultante, consistente principalmente en sulfatos de litio y potasio. Se procede entonces a la evaporación y posterior recuperación de carbonato de litio mediante el agregado de carbonato de sodio, lavándose con agua dulce, para su posterior secado y empaquetado (Parga, 2021; 2023).

Debido a los métodos necesarios para la explotación y extracción de litio tanto de salmueras como de arcillas de estas lagunas, la alta demanda de agua no sólo salada sino dulce de las inmediaciones del altiplano potosino-zacatecano, para los diferentes filtrados, lixiviados y lavados de los concentrados de litio, constituye un grave riesgo de abatimiento del manto freático de los ya de por sí sobreexplotados acuíferos de la región, tales como el acuífero denominado “El Barril”, mismo que se encuentra en estado crítico debido a la actual sequía atípica en la región del área de estudio (REMA, 2023, p. 59).

La explotación de otros minerales en el área de estudio

Las lagunas saladas del altiplano potosino-zacatecano presentan además del litio, otros minerales: boro, magnesio, manganeso y principalmente potasio. Este último es actualmente utilizado en su forma de sulfato de potasio como fertilizante en la agricultura, por lo que incluso, las compañías mineras interesadas en el aprovechamiento del lito ven con gran potencial el minado y comercialización de este producto.

Debido a que la explotación y producción de litio en el altiplano potosino-zacatecano, será

realizada por el Estado mexicano en conjunto con las empresas *Advance Lithium Corporation* y *Silver Valley Metals Corporation* (Solís, 2023) (este último a través del proyecto *MexiCan Lithium-Potassium Project*) que ya contaban con varias concesiones para la explotación del litio. No se conoce exactamente cómo es que se dividirá la explotación de litio y potasio, pues prácticamente estos minerales se encuentran entremezclados tanto en salmueras de baja graduación-concentración, así como en las arcillas al interior de las lagunas. Al respecto, los representantes de la compañía *Advance Lithium Corp.* comentaron que “si bien el litio está cubierto por esta nueva legislación en México, el potasio no lo está”,² por lo que estas empresas y aquellas otras interesadas en la región de estudio, podrían explotar solamente el potasio en teoría para “brincarse” la nacionalización del litio (REMA, 2023, p. 38).

Consideraciones sociales y económicas en la explotación del litio en ejidos del altiplano potosino-zacatecano

Es necesario para el gobierno mexicano tener en cuenta las consideraciones sociales y económicas en la explotación del litio en las inmediaciones de los ejidos del área de estudio. Pues, en teoría y utópicamente, sería de gran relevancia poder abordar estos aspectos para que los beneficios de esta actividad pudiesen ser accesibles a las comunidades locales de estos lugares que contienen litio. Por tanto, entre las consideraciones principales a tener en cuenta estarían las sociales, las cuales incluyen

2 <https://www.bnamericas.com/es/noticias/advance-lithium-actualiza-informacion-sobre-cambios-a-ley-minera-en-mexico>

la participación de la comunidad, así como la de los ejidos anexos a estos cuerpos de agua salada, mismos que, por lo regular, han sido de propiedad privada desde mediados del siglo XIX, pero que en la dotación de los ejidos, las haciendas salineras del monopolio de los Errazu y subsecuentes propietarios —tanto nacionales como extranjeros— fueron afectados, respetándoseles la llamada “casa grande” (que era donde residía el administrador y/o representante de la compañía salinera), así como la laguna salada, en la mayoría de los casos (Haro, 2017).

Es por estas razones, que es esencial involucrar a los ejidatarios desde las etapas iniciales de los proyectos. Esto implica no solo informar, sino en teoría, también escuchar y tomar en cuenta sus preocupaciones y expectativas. La toma de decisiones, tanto de las empresas mineras como de la paraestatal LitióMX debe considerar exclusivamente los derechos o intereses de los habitantes de las comunidades anexas a las lagunas a explotarse.

El impacto en la cultura y modo de vida de las comunidades ejidales es una consideración crucial al abordar la explotación del litio en el altiplano potosino-zacatecano. La introducción de una industria extractiva puede tener efectos profundos en la forma en que las personas viven, se relacionan y se identifican con sus entornos. Positivamente, la explotación del litio puede alterar la economía local de esas comunidades (por lo general con una economía deprimida), por lo que, al introducir nuevas fuentes de ingresos, podrían modificarse los medios de subsistencia tradicionales, lo que a su vez afectaría la manera en que las personas se relacionan con el trabajo y los recursos.

La explotación del litio aumentará la demanda de recursos locales, como agua y energía. Esto puede tener un impacto en la disponibilidad y accesibilidad de estos recursos para la comunidad, lo que a su vez puede afectar su forma de vida y actividades cotidianas.

Para muchas comunidades ejidales, la tierra no es simplemente un recurso económico, sino que tiene un significado cultural, familiar y hasta de cierta manera espiritual. La explotación del litio puede desafiar estas relaciones y generar conflictos sobre la propiedad y el uso de la tierra.

La llegada de una industria extractiva podría crear nuevas oportunidades de empleo y formación técnica. Sin embargo, también cabe la posibilidad de que cambien las aspiraciones y perspectivas de la educación de los jóvenes, lo que puede impactar en la transmisión intergeneracional de conocimientos y tradiciones culturales.

Dependiendo de las prácticas de explotación, podría haber riesgos para la salud de las personas y la seguridad de la comunidad. Es crucial implementar medidas de seguridad y regulaciones adecuadas para minimizar estos riesgos como son los posibles desechos tóxicos y falta de agua potable.

Por otro lado, la explotación del litio también abre la posibilidad para brindar oportunidades para fortalecer y preservar la identidad cultural de la comunidad, lo que es factible a través de la promoción de actividades culturales y de la preservación del patrimonio histórico-arqueológico que presentan las lagunas saladas: tales como infraestructura decimonónica asociada a la producción de sal, así como restos de fauna pleistocénica.

En última instancia, es imperativo que se realice una evaluación integral de los impactos

sociales y culturales antes de iniciar cualquier proyecto de explotación de litio. Esto debe llevarse a cabo en colaboración con las comunidades afectadas, para garantizar que sus preocupaciones y valores sean tomados en cuenta en todo momento. Además, es necesario establecer mecanismos para monitorear y mitigar los impactos a lo largo de la vida útil del proyecto.

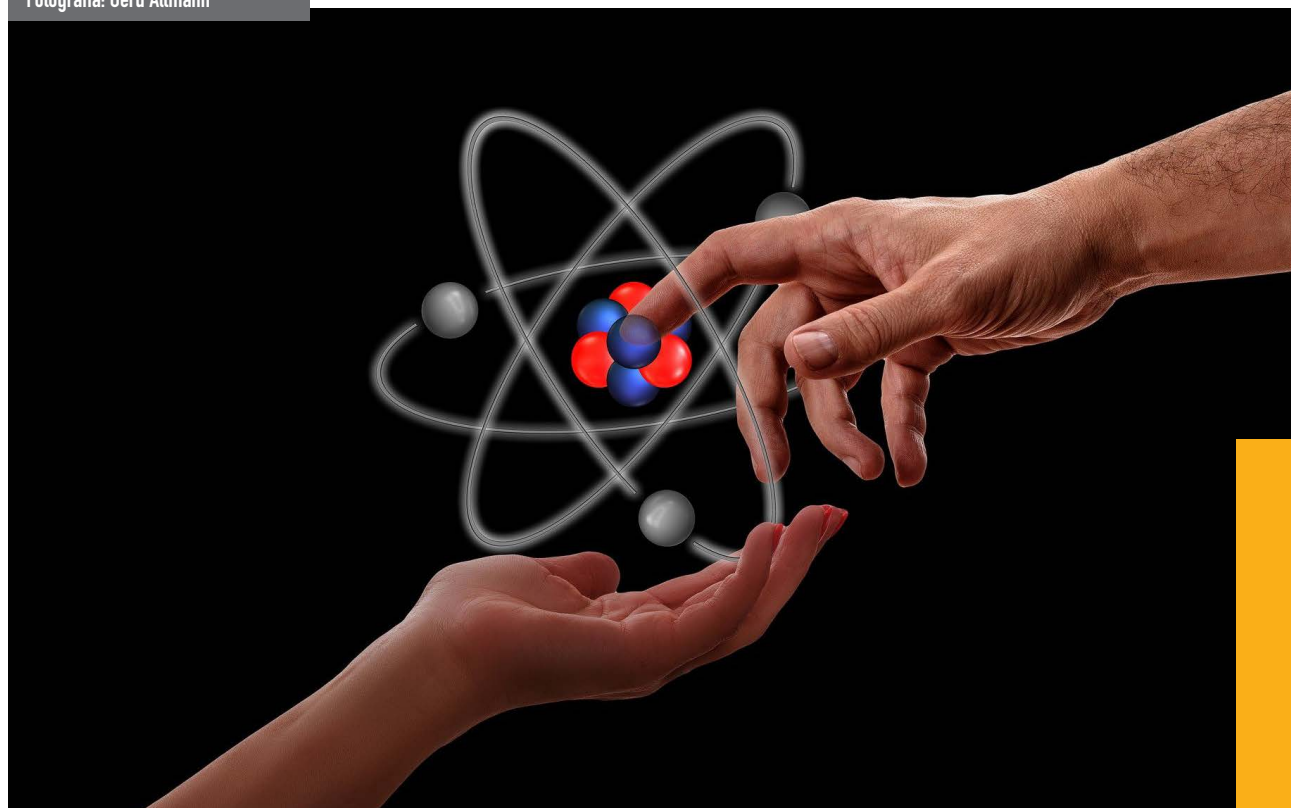
En cuanto a las consideraciones económicas, es de esperarse que la explotación del litio pueda diversificar la economía de las regiones ejidales, reduciendo la dependencia de actividades agrícolas-ganaderas y generando nuevas fuentes de ingresos para la comunidad.

En teoría —y a su vez utópicamente— los ingresos generados por la explotación del litio deben reinvertirse en la comunidad y en la región. Esto puede incluir la mejora de infraestructuras locales, la creación de servicios básicos (que

por lo general están en condiciones deplorables) y la promoción de actividades económicas complementarias.

Se debe fomentar la participación de emprendedores y pequeñas empresas locales (contratistas) en la cadena de suministro del litio, los cuales incluso podrían ser los mismos ejidatarios de los ejidos anexos-aledaños a estos lugares de explotación. Esto puede impulsar el desarrollo de capacidades tecnológicas y generar oportunidades de negocio.

La explotación del litio en terrenos anexos a ejidos de México presenta una serie de desafíos y oportunidades tanto a nivel social como económico. Es esencial adoptar un enfoque integral que equilibre los intereses de la comunidad, la industria y el medio ambiente. Una gestión responsable y sostenible del litio puede ser un motor para el desarrollo sostenible de las regio-



nes ejidales, contribuyendo hipotéticamente al bienestar de las comunidades y al crecimiento económico del país en su conjunto.

El dilema: litio y propiedad social

La inminente producción de la industria del litio en México plantea un dilema complejo en el que se cruzan los derechos de propiedad social con la explotación de este recurso estratégico por parte del Estado, en conjunto con mineras transnacionales. A medida que se desarrollan proyectos de extracción de litio colindantes a tierras ejidales, si es que no se tiene una información, explicación y promoción del cómo se realizará, hará que surjan conflictos y desafíos significativos que en teoría requieren de un enfoque equitativo y sostenible a lo largo de la duración de los proyectos de explotación de litio.

¿Cómo se intersectan los derechos de propiedad social con la explotación de litio?

Los ejidos en México representan una forma única de propiedad comunal de la tierra, gestionada por las comunidades locales y, como se abordó anteriormente, con un enorme historial para su control, dotación, restitución, ampliación y nuevos centros de población ejidal. La explotación de litio y de potasio puede entrar en conflicto con estos derechos de propiedad, ya que involucra la extracción de recursos naturales en tierras de agostadero que históricamente han sido utilizadas para la producción salinera y distintos usos por parte de los ejidos.

Uno de los conflictos que puede generarse podría ser por el acceso a la laguna salada, pues

los proyectos de extracción requieren de grandes extensiones de tierra, lo que podría afectar negativamente las actividades de agostadero y de las parcelas de las comunidades ejidales.

Un grave problema que puede suscitarse por la extracción de litio y potasio en las lagunas saladas del altiplano potosino-zacatecano, es la escasez de agua o abatimiento de los mantos freáticos que pudiese ocasionar esta explotación minera, pues, aunque existe la promoción de un sistema en proceso de patentado para el aprovechamiento del litio y potasio en las arcillas de las lagunas saladas del área de estudio, en el cual, el agua puede reutilizarse “muchas veces” (Bnamericas, 2022), aún así, la demanda sería de millones de metros cúbicos de agua, por lo que no se sabe si pueda tener efectos adversos en el medio ambiente, como la contaminación del agua y la degradación/desaparición del suelo correspondiente a las arcillas al interior de las distintas lagunas saladas, lo que podría amenazar los de por sí mínimos recursos naturales de los ejidos ubicados en el semidesierto.

Consideraciones finales

En este artículo hemos explorado el complejo dilema que rodea a la explotación del litio en el altiplano potosino-zacatecano y su relación con la propiedad social en los ejidos. Hemos analizado el marco legal agrario mexicano, los desafíos y consideraciones sociales, económicas y culturales asociadas a la explotación del litio, así como los posibles conflictos que pueden surgir.

El litio, un recurso estratégico de creciente importancia en la era de la tecnología y la sostenibilidad, así como el potasio siendo el fertilizante de última generación, presenta tanto oportunidades como desafíos para las comunidades

ejidales del área de estudio. La nacionalización del litio en México representa un cambio significativo en la gestión de este recurso, con implicaciones que pueden ser semejantes a aquellas ocasionadas por las mineras en las comunidades locales de otras regiones cercanas.

Es esencial que el gobierno de México, a través de la paraestatal LitoMX, las distintas corporaciones mineras de capital transnacional y las comunidades ejidales, trabajen de manera colaborativa para abordar los desafíos de manera efectiva. La consulta y el consentimiento previo de las comunidades ejidales deben ser una parte fundamental de cualquier proyecto de extracción de litio y, en teoría, los beneficios económicos deben distribuirse de manera justa, beneficiando a las localidades aledañas a estas lagunas salobres.

La preservación del medio ambiente y la cultura local deben ser prioridades en cualquier proyecto de explotación de litio. La gestión responsable de los recursos hídricos y la implementación de tecnologías sostenibles son esenciales para minimizar el impacto negativo en el entorno natural y en el modo de vida de las comunidades. Pues es necesaria la reactivación económica de estos lugares empobrecidos ante la falta de oportunidades y el abandono en el que se encuentran.

En última instancia, el desafío de encontrar un equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación de los valores sociales y culturales arraigados en las tierras ejidales del altiplano potosino-zacatecano, es una tarea que requiere un enfoque integral y a largo plazo. Con la colaboración y el compromiso de todas las partes interesadas, es posible aprovechar los beneficios del litio de manera sostenible y justa para el bienestar de las comunidades y del país en su conjunto.

Referencias

- Bnamericas (2022). *Advance Lithium actualiza información sobre cambios a ley minera en México*. 3 junio. <https://www.bnamericas.com/es/noticias/advance-lithium-actualiza-informacion-sobre-cambios-a-ley-minera-en-mexico>
- Haro Patiño, E. U. (2017). *De la Plata al Plato: etnoarqueología de la producción salinera en el valle de El Salado San Luis Potosí-Zacatecas* (Maestría). El Colegio de Michoacán, Centro de Estudios Arqueológicos.
- Parga P., J. J. (2021). Depósitos de litio y potasio en el Altiplano Mexicano, San Luis Potosí, Zacatecas. *Geomimet*, (353), septiembre-octubre, 14-23
- (2023). *Exploración y Recursos Minerales de los Yacimientos de Litio en el Altiplano Mexicano, S.L.P.-Zac*. Conferencia del Seminario Latinoamericano “¿Qué hacemos con el litio? Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas.
- Montoya Martín del Campo, A. (2022) Transición Energética Soberana y litio como área estratégica, en la Iniciativa de reforma a los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (Foro 16) H. Cámara de Diputados, Parlamento Abierto.
- REMA / Mining Watch Canadá (febrero 2023). *Explotación de litio en México ¿interés público o extractivismo transnacional?*
- Secretaría de Economía (enero 2020). *Perfil del Mercado del litio*. Dirección General de Desarrollo Minero. México
- Servicio Geológico Mexicano (noviembre 2010). Reunión del Grupo de Expertos en el Desarrollo Sostenible de los Recursos de Litio en América Latina: Hechos Relevantes y Oportunidades. Comisión Económica de América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Chile.
- Solís, A. (2023). Exclusiva: CEO de LitoMx negocia asociaciones con empresas privadas. *Bloomberg Línea*, 9 de febrero. <https://www.bloomberglinea.com/2023/02/09/exclusiva-ceo-de-litiomx-negocia-asociaciones-con-empresas-privadas/>

Lo que todos queremos saber sobre la situación del litio en México



Margarita E. Gutiérrez Ruiz

Doctora en Ciencias de la Tierra. Responsable del Laboratorio de Biogeoquímica Ambiental (LABQA) de la UNAM. Miembro del S.N.I (I). Su línea de investigación es Diagnóstico y manejo de sistemas residuos-suelo-agua contaminados / ginny@unam.mx.



José Luz González Chávez

Actualmente es Profesor Titular "C" de TC de la Facultad de Química de la UNAM. Químico por parte de la UNAM, con mención honorífica. Maestro en Ciencias (Química Analítica) por parte de la UNAM. Doctor en Química Analítica por la Universidad de Nancy, Francia, con mención honorífica y felicitaciones. Ha dictado más de 70 conferencias y ha presentado más de 110 trabajos en congresos nacionales e internacionales. Su biografía aparece en la Enciclopedia de México desde 2006 / joseluz@unam.mx.



Francisco M. Romero

Actualmente es Investigador Titular "C" de TC del Instituto de Geología de la UNAM. Obtuvo el grado de Ingeniero de Minas – Hidrogeólogo y maestro en Ciencias Mineralógicas en el Instituto de Minas de San Petersburgo, Rusia (1986–1992). Cuenta con maestría en Geología Ambiental (1998–2000) y doctorado en Geoquímica (2001–2004) por la UNAM / fmrch@geologia.unam.mx.

75

Resumen

Este documento responde a las preguntas que generalmente surgen en la población sobre este tema: ¿qué tan rico es México en litio?, ¿qué falta hacer para que México pueda ser un país importante en la producción de litio?, ¿qué industria puede desarrollarse en México con base en el litio producido?, ¿hay tecnologías nacionales para recuperar litio de las arcillas?, ¿cuál es la concentración de litio en los yacimientos?

Palabras clave: Yacimientos de litio en México, marco legal del litio en México, avances exploración del litio en México, procesos obtención litio en arcillas, producción de baterías de litio en México.

Abstract

This article answers questions from the public on this topic, such as How rich is Mexico in Lithium? What actions are necessary to be a re-

levant Lithium producer? What industry can be developed in Mexico based on Lithium production? Are there national technologies to recover Lithium from clays? What is the concentration of Lithium in the deposits?

Keywords: Lithium deposits in Mexico, legal Mexican framework, Lithium-clays recovery, Lithium exploration in Mexico, production of Lithium batteries in Mexico.

Situación actual de la minería del litio

En México, el litio fue declarado de utilidad pública, por lo que no se otorgan concesiones, licencias, contratos, permisos o autorizaciones para su exploración y explotación. Además de que todos los yacimientos se consideran zona de reserva (REMA, 2023) y son empresas descentralizadas del gobierno federal, quienes tienen a su cargo estas actividades, así como su industrialización (Artículo 10, Decreto de 20 de abril de 2022 por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley de Minería).¹ El 23 de agosto de 2022 fue creada la empresa pública y descentralizada “Litio para México (LitioMx)”² mediante un decreto firmado por el presidente Andrés Manuel López Obrador, que es posterior a la modificación del 20 de abril del mismo año de la ley minera en la que se establece que es el Poder Ejecutivo el responsable de designar a un organismo público descentralizado para llevar a cabo toda la exploración y

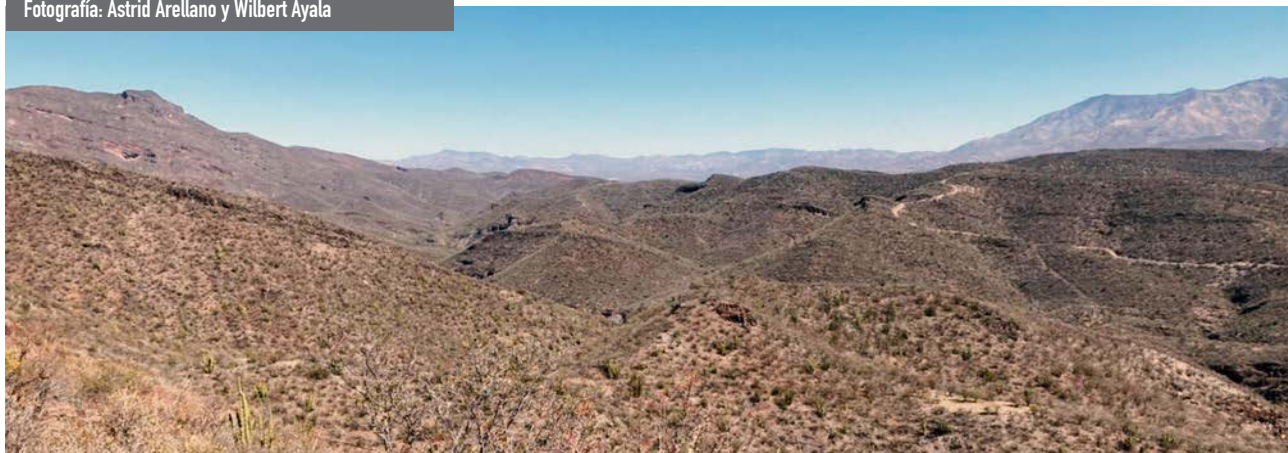
aprovechamiento de las reservas de litio.³ Por lo tanto, LitioMx es la única que puede realizar la exploración y aprovechamiento de las reservas de litio, con el auxilio del Servicio Geológico Mexicano (SGM) para operar. Sin embargo, también en el Artículo 5, inciso VII del decreto antes mencionado se indica que para “administrar y controlar las actividades necesarias para la producción, transformación y distribución de productos derivados del litio”, esta entidad (LitioMx) “podrá asociarse con otras instituciones públicas y privadas”. Sin duda esta apertura a la participación de capitales privados, tanto nacionales como internacionales que generarán inversiones mixtas, se explica por los altos requerimientos de capital necesarios para investigar, explorar y construir la infraestructura para el aprovechamiento del litio (REMA, 2023).

México tiene diferentes depósitos de litio, ya sean salmueras, roca-dura y arcillas o sus mezclas. Los depósitos actualmente con mayor potencial se encuentran en el estado de Sonora. De acuerdo con lo reportado por Rocío Morales Álvarez (2022), la exploración del litio se remonta al siglo pasado. A finales de los años ochenta, el entonces Consejo de Recursos Minerales (CRM), ahora Servicio Geológico Mexicano (SGM), inició el “Proyecto Litio” cuyo objetivo fue investigar “la ocurrencia de la existencia de este metal en el país, puesto que no existe producción registrada del mismo elemento”. Al respecto se indicaba que este proyecto se inició cuando ya se conocía que había litio en el país. De acuerdo con Salas (2010), citado en Morales Álvarez (2022), en el año 2010, dos empresas llevaron a cabo trabajos de exploración, aunque no lo-

1 https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Ley_de_Mineria.pdf (Consulta: 20 septiembre 2023).

2 <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/8d505030-7686-44e1-9f60-77ceb0610826/content> (Consulta: 21 septiembre 2023).

3 <https://www.forbes.com.mx/empresa-estatal-litio-para-mexico-recibira-su-primer-presupuesto-en-2024/>



graron confirmar la existencia de reservas de litio de interés comercial en todo México: 1) Pan American Lithium, de origen estadounidense, y 2) LítioMex, empresa de capital mexicano. Sin embargo, de acuerdo con la información reportada en 2020 por el SGM,⁴ hay yacimientos muy importantes. Esta dependencia reporta que 11 localidades contienen este elemento en sedimentos, 24 en salmueras y 22 en roca-dura, cuyas leyes varían de 66 a 450 ppm en sedimentos y de 110 a 283 mg/kg en salmueras. Cuatro estados son los más prometedores en yacimientos de litio, los cuales ya habían sido identificados en los estudios realizados por CRM en el siglo pasado y en los cuales, en algunos casos, las concentraciones son más altas que las de yacimientos en explotación de otras partes del mundo. Ponen especial énfasis en Sonora por sus yacimientos en roca-dura y arcillas, Zacatecas y San Luis Potosí por sus salmueras y en Puebla por contener salmueras y arcillas.

La información aportada por SGM viene a contribuir a tener más claridad en la información disponible sobre la riqueza de los yacimientos de litio, especialmente el de Bacanora, pues

4 https://www.geomin.com.mx/pdf/panel/litio/PRESENTA_LITIO_MEXICO_AIMMGMNov2020_Corregida.pdf (Consulta: 23 septiembre 2023).

la información era confusa. Por ejemplo, como respuesta al alud de noticias periodísticas que afirmaban que México poseía una gran riqueza de litio, en el año 2018, la entonces Secretaria de Economía de México, Graciela Márquez, desmintió que el país tuviera la reserva más grande en el mundo. Textualmente dijo: “México no tiene el yacimiento más grande de litio (del mundo). No hay un solo kilogramo que se produzca, tenemos unos yacimientos con un contenido muy bajo”, afirmó Márquez durante una comparecencia en el Senado. “Es muy importante, y aquí quiero recalcar, cuando se hizo esa estimación del yacimiento de litio se tomó en cuenta toda la arcilla, pero esas toneladas de arcilla no son litio”, agregó durante su comparecencia ante el Senado.⁵ No obstante, en ese mismo año apareció en la red un comunicado de la Dirección General de Desarrollo Minero de la Secretaría de Energía donde señaló que el potencial estimado por la empresa era del orden de 43.3 millones de toneladas con una ley de 0.30 % (equivale a 3 000 mg li/kg).

5 <https://dialogochino.net/es/actividades-extractivas-es/48500-litio-en-mexico-entre-la-confusion-y-la-nacionalizacion/#:~:text=“Es%20muy%20importante%2C%20y%20aquí,una%20comparecencia%20en%20el%20Senado> (Consulta: 23 septiembre 2023).

Como consecuencia, de los datos sobre yacimientos, diversas empresas solicitaron concesiones. Sin embargo, la información sobre el número otorgado y el tipo de las mismas es escasa y, en ocasiones, contradictoria. Por ejemplo, el 18 de abril de 2022, *Expansión*⁶ publicó que en México hay 36 proyectos mineros de capital extranjero destinados a extraer litio que son controlados por 10 empresas, pero no menciona cuáles tienen concesiones. El presidente de la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Sergio Almazán Esqueda, indicó que solamente hay ocho concesiones vigentes,⁷ mientras que la empresa china Ganfeng informó que cuenta con nueve concesiones vigentes expedidas entre 2010 y 2015 por la Secretaría de Economía y con vigencia hasta 2060-2065 y una concesión en trámite desde 2013.

78

De acuerdo con Noticia (2023), las empresas con concesiones son únicamente cinco:

[la empresa china] Ganfeng Lithium y las firmas canadienses Rockland Resources, Advance Lithium, Silver Valley Metals y One World Lithium. Ganfeng tiene el proyecto litífero más avanzado del país, Sonora, en el estado homónimo, mientras que Rockland Resources posee el proyecto Elektra, también en Sonora. También se reporta que Advance Lithium y Silver Valley Metals cuentan con 16 salares en los estados de Zacatecas y San Luis Potosí, y One World Lithium, tiene el permiso para su proyecto Salar del Diablo, en el estado de Baja California.

6 <https://expansion.mx/empresas/2022/04/18/yacimientos-litio-mexico-concesiones-empresas> (Consulta: 29 septiembre 2023).

7 <https://energiaadebate.com/le-saldrá-cara-a-mexico-exclusividad-en-la-explotación-del-litio/> (Consulta: 29 septiembre 2023).

Lo cierto es que el número de concesiones es mayor al número de empresas que han realizado prospecciones. Hasta ahora solamente son tres: a) Organimax, que es una “empresa junior” que exploró litio en Zacatecas, la cual fue adquirida por Silver Valley Metals, estadounidense, quien posee cuatro concesiones de LitoMex y una concesión para explorar 15 salares, en los que reportan una concentración media ponderada de 380.29 mg/kg; b) One World Lithium, que opera el proyecto Salar del Diablo en Baja California. Esta empresa también realizó análisis durante dos temporadas del año en muestras procedentes de cuatro pozos diferentes, sin que detectara litio en cantidades significativas; y finalmente, Bacanora Lithium, actualmente Sonora Lithium (Ganfeng), que cuenta con concesiones vigentes y una en trámite para explotar arcillas,⁸ cuyo yacimiento probó contener litio en concentraciones económicamente muy interesantes y es el único con avances en la fase de extracción y producción (Morales, 2022); además de que el depósito se encuentra cerca de la superficie, por lo que el minado puede operarse a cielo abierto.⁹ Este proyecto abarca

8 A look at the major lithium clay projects <https://seekingalpha.com/article/4205681-look-lithium-clay-projects>.

9 La mineralización de litio se encuentra dentro de dos horizontes denominados: unidades de arcilla superior e inferior que están separados por una capa de ignimbrita. La unidad de arcilla inferior alberga arcillas, que su principal composición es ilítica (polyolithionite), con valores de litio en un intervalo de 38 a más de 10 000 ppm, con un espesor promedio de 27 metros. La unidad superior de arcilla, alberga arcillas con mineral de litio que pertenecen principalmente a la familia de la esmectita (hectorita), con valores de litio en el intervalo de 41 a 6 200 ppm, con un espesor promedio de 28 metros. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419275/Perfil_Litio_2018_T.pdf.

el yacimiento conocido como la Ventana (Bacanora) ubicado en el poblado de Bacadéhuachi. De acuerdo con Flor de María Harp Iturribarria, directora de SGM, la Ventana presenta una concentración promedio de 3 415 mg/kg, valor que excede los valores reportados en otros países en yacimientos de arcillas (información personal). Asimismo, indica un valor extremo de 16 000 mg/kg nunca informado.¹⁰ Este valor promedio coincide con los datos reportados por la empresa, que se presentan en la Tabla 1.¹¹

Otras publicaciones reportan datos de concentración inclusive más altos en los yacimientos mexicanos, que los anteriormente mencionados, aunque no aparecen referencias que comprueben su validez. Por ejemplo, se han informado concentraciones de 3.5% que equivalen a 35 000 mg/kg, diez veces mayores a las indicadas por SGM (Portales-Martínez *et al.*, 2022).

10 <https://www.reuters.com/article/us-mexico-mining-lithium-exclusive-idUSKCN2E52FN>

11 Elaborado por la subdirección de Análisis Económico de la Dirección de Servicios de Información y Análisis Especializados, adscrito a la Coordinación de los Servicios de Información, Bibliotecas y Museo de la Secretaría de Servicios Parlamentarios de la Cámara de Diputados; https://www.ganfenglithium.com/aboutz_en/id/5.html

Sin embargo, inclusive sin considerar los datos extremos, y tomando en cuenta únicamente las concentraciones reportadas por la empresa Ganfeng Lithium, responsable del proyecto Sonora, la puesta en marcha del proyecto para explotar el yacimiento Bacanora puede transformar a México —que actualmente no produce litio—, en uno de los países más importantes, junto con Chile y Australia. Sin embargo, otras fuentes, como es el Servicio Geológico de Estados Unidos, indican que México se encuentra solamente en el noveno lugar de reservas mundiales, muy por debajo de Bolivia, con 21 millones de toneladas y Argentina, con 19.3 millones.¹² Pero inclusive estas cifras más conservadoras, indican que México tiene un alto potencial de producción de litio. No obstante, es claro que se requiere mayores datos y acceso a información validada, para poder confirmar el papel que puede jugar México en el contexto mundial de la producción de litio, pues, como indicó el SGM para el caso del Proyecto Sonora, que al momento es el más prometedor: “los riesgos geológicos y de otro tipo siguen siendo muy, muy altos, incluida la

12 <https://energiaadebate.com/le-saldrá-cara-a-mexico-exclusividad-en-la-explotacion-del-litio/> (Consulta: 30 septiembre 2023).

Tabla 1. Recursos de litio en Bacadéhuachi, Sonora

Recursos	Toneladas métricas	Concentración de litio (g/ton)	Contenido de litio (toneladas)
Medidos	103 000 000	3 480	358 440
Indicados	188 000 000	3 120	586 560
Inferidos	268 000 000	2 650	710 200
Total	559 000 000	=	1 655 200

Fuente: Bacanora Lithium.

forma en que la compañía extraerá el litio de las arcillas, que aún no se ha logrado en ningún otro lugar a escala comercial”.¹³ Sin embargo, la información actual hace pensar que el proyecto es técnicamente viable, pues el proyecto Sonora (Bacanora), aunque inicialmente fue desarrollado por la empresa británica Bacanora Lithium, que contaba con una tecnología poco eficiente, fue adquirido progresivamente por la empresa china Ganfeng Lithium —que es una compañía líder en la producción de baterías de litio en el mundo y uno de los proveedores de este metal de Tesla y BMW—. Posteriormente a la reforma a la ley minera, Ganfeng Lithium indicó que el proyecto Sonora es viable ya que “cumple con todas las leyes aplicables, regulaciones y modificaciones de las leyes en México” y cuenta con diez concesiones¹⁴ —una más que la mencionada por el gobierno mexicano—, y ya tiene la autorización de la manifestación de impacto ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), expedida en junio de 2017 para la explotación del yacimiento de litio del proyecto La Ventana.

También tiene un título de concesión de agua registrado ante la Comisión Nacional del Agua (Conagua) en enero de 2019 y hay acuerdos con dueños de terrenos adquiridos, y está negociando el permiso de uso de suelo con el municipio;¹⁵ además, la Semarnat autorizó el informe preventivo para la perforación de pozos de prueba en agosto de 2020.

13 <https://www.ocmal.org/category/noticias/page/136/>

14 https://bacanoralithium.com/sonora_lithium_project/. (Consulta: 27 septiembre 2023).

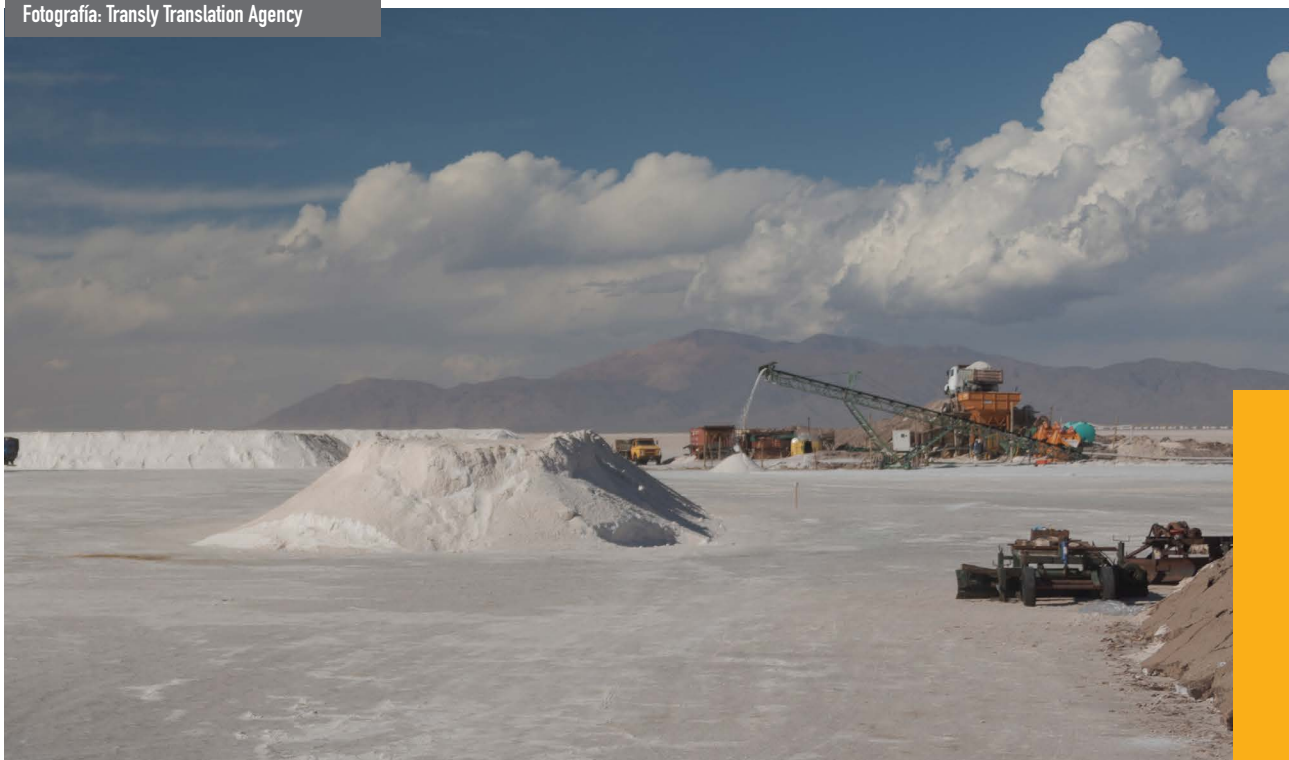
15 <https://www.bnamericas.com/es/noticias/informe-identifica-5-empresas-con-concesiones-de-litio-en-mexico>. (Consulta: 30 septiembre 2023).

Bajo ese contexto, su primera producción la tenía programada para el segundo semestre de 2024, pues esta empresa no superó el obstáculo final, ya que, aunque estaba a la espera de un acuerdo con el gobierno mexicano para un proyecto conjunto dentro de la apertura mostrada para que LitoMx pudiera asociarse con particulares, el pasado jueves, 28 de septiembre de 2023, el presidente Andrés Manuel López Obrador revocó nueve concesiones de esta empresa.¹⁶ Ahora hay que esperar cuál será la estrategia que seguirá Ganfeng Lithium, pues inclusive puede interponer una demanda basada en el Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico.

El resto de las empresas muestran un nivel bajo de exploración ya que están limitadas por “falta de capital financiero e infraestructura tecnológica”, aunque los reportes periodísticos son más optimistas. La empresa minera canadiense Advance Lithium, con concesiones en México, informó este año que dispone de una tecnología para lograr extraer litio de arcilla, principal obstáculo para explotar rocas sedimentarias, pues hasta ahora no había ninguna en operación que hubiera demostrado su rentabilidad. El método fue desarrollado en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico de Saltillo, México.¹⁷

16 <https://www.forbes.com.mx/amlo-justifica-cancelacion-de-concesiones-de-litio-a-empresa-china-ganfeng-lithium/> (Consulta: 30 septiembre 2023).

17 <https://www.bnamericas.com/es/noticias/informe-identifica-5-empresas-con-concesiones-de-litio-en-mexico#:~:text=Cinco%20empresas%20tienen%20concesiones%20para,Interés%20público%20o%20extractivismo%20transnacional%3F>. (Consulta: 23 septiembre 2023).



Es similar a los procesos con los que se lixivia el cobre pues se basa:

[...] en un sistema de lixiviación de partículas de arcilla menores a 20 μm , con una separación de la solución mediante un proceso de extracción con solventes y, finalmente, la transformación de Li a metal por electrólisis. El agua se recicla y se propone el uso de energía solar. El proceso de lixiviación en arcillas con moscovita y sanidina está patentado (MX2018003804A) y establece condiciones que aumentan la eficiencia del proceso (Gutiérrez-Ruiz y Amaro-Ramírez, 2023).

Advance Lithium asegura que con este método necesitaría poca energía, la cual se puede proporcionar mediante paneles solares y, además, el agua puede reciclarse, lo cual es una diferencia clave con otros métodos de extracción de litio de depósitos de arcilla que requie-

ren cantidades significativas de agua que no se puede reciclar. Advance Lithium compró 13 salares a Organimax Nutrient (hoy Silver Valley Metals),¹⁸ que contiene litio junto con potasio y boro, en San Luis Potosí y Zacatecas, y reporta una concentración en 30 muestras de 8 397.3 mg/kg, lo cual es un valor tremendamente más alto que el reportado en arcillas a nivel mundial. Actualmente, esta empresa está en pláticas con la estatal LitioMx para formar una empresa conjunta y acelerar el proceso de producción.¹⁹ Se tiene la opción de producir sulfato de potasio, que es un elemento de la misma familia del litio y que está presente en el yacimiento en partes

18 <https://elceo.com/negocios/minera-canadiense-advance-lithium-busca-alianza-estrategica-con-litiomx-para-continuar-trabajos-de-exploracion/>. (Consulta: 20 septiembre 2023).

19 <https://miningmexico.com/litioypotasio-agricultura-mexicana-ambiente-leyminera-economia/> (Consulta: 22 septiembre 2023).

iguales, cuyo precio también es muy alto; pues es un importante fertilizante.²⁰ Cabe señalar que los nuevos lineamientos que aplican al litio no incluyen al potasio. Sin embargo, esta empresa sigue interesada en producir ambos elementos, por lo que, como se comentó, buscará establecer una alianza estratégica con LíticoMx que le permita continuar los trabajos de exploración y explotación del mineral en San Luis Potosí y Zacatecas.

En Baja California, la empresa Pan American Lithium estudia la factibilidad técnica y económica del reprocesamiento de una salmuera residual, producto de la operación de la planta de generación geotérmica de Cerro Prieto, perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad.²¹ El proyecto de la empresa Litiomex S.A. de C.V. busca explotar en San Luis Potosí, en la zona limítrofe con Zacatecas, un depósito de sales de litio y potasio que se encuentra en sedimentos arcillosos y en salmueras de evaporación, que han formado salares. En el área afloran rocas constituidas por material volcánico y sedimentario de origen continental, representadas de acuerdo con el SGM, por la Formación Chilito, el Conglomerado rojo de Zacatecas y depósitos lacustres formados por la evaporación de las aguas que confluyen en la cuenca y la consecuente precipitación de sales de sodio mixtas con otros materiales.²² Los estudios realizados a la fecha por la empresa Litiomex S.A. de C.V. aportan

datos que permiten estimar recursos del orden de los ocho millones de toneladas de litio equivalente.

Industrialización de litio

El contar con litio como un recurso nacional, puede permitir a México convertirse en un fabricante de baterías de litio. En estos momentos, México es uno de países productores más importantes de autos, ya que ofrece mano de obra competitiva y preparada y es socio comercial de los países del TLCAN. Bajo este escenario es posible que la producción de baterías sea una opción que interese de sobremanera a todos los miembros de este tratado, aunque Canadá también cuenta con reservas de litio y seguramente también estará interesado en producir las. Un mercado integrado podría impulsar la cuota de mercado local y la electromovilidad a nivel mundial como indica Leonardo Beltrán, Distinguished Visiting Fellow del Center on Global Energy Policy de la Universidad de Columbia y Non-resident Fellow del Institute of the Americas.²³ Tener un mercado integrado puede reducir costos y aumentar el mercado y la competitividad de los vehículos eléctricos.

Además, México cuenta con otros elementos necesarios para la fabricación de baterías para almacenar energía eléctrica, y las nuevas tecnologías para explotar los yacimientos de litio en arcillas son prometedoras. Por otro lado, se vería aligerada la demanda creciente de energía eléctrica que es un reto complicado para la Comisión Federal de Electricidad, ya que difícilmente podrá abastecer la demanda de los vehículos eléctricos en el futuro.

20 <https://miningmexico.com/litioypotasio-agricultura-mexicana-ambiente-leyminera-economia/>. (Consulta: 22 septiembre 2023).

21 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419275/Perfil_Litio_2018__T_.pdf

22 https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419275/Perfil_Litio_2018__T_.pdf

23 <https://portalmovilidad.com/puede-ser-mexico-el-fabricante-de-baterias-de-litio-que-requiere-la-electromovilidad-en-la-region/>



No obstante, estos planes requieren de nuevas políticas adecuadas que permitan contar con los capitales para llevar a cabo todos los procesos que requiere la industrialización del litio, empezando por la producción del metal. Los pasos más importantes incluyen el contar con un marco legal y administrativo que facilite las inversiones y cuide que las empresas representen un beneficio tangible para el país, especialmente a nivel regional, y desarrollar centros de formación humana y de investigación para sustentar todos los aspectos necesarios de la cadena de producción. El desarrollo tecnológico propio es esencial.

Consideraciones finales

Existen aspectos importantes a evaluar para lograr la producción de litio y su industrialización. Especialmente tomando en cuenta que México requiere de un mayor desarrollo científico y tecnológico, que le permita contar con procesos propios, así como con información científica que los sustente, sin dejar de considerar que ya se cuenta con una tecnología propia nacional y que las empresas extranjeras, en caso de que se asocien a LitioMx, pueden decidir utilizar tecnologías ya desarrolladas fuera del país. No obstante, en el caso de las arcillas se sabe que los avances mundiales son escasos, lo que constituye una oportunidad única para que el país pueda avanzar en el tema.

Así mismo, hay que llevar a cabo investigaciones y realizar estudios documentales sobre otros elementos que en el futuro pueden sustituir al litio, para establecer escenarios socioeconómicos sustentados y aprovechar el que México puede ser también muy importante en la producción de otros metales críticos.

Si las empresas con concesiones realizan asociaciones con LitoMx o no lo hagan, sigue siendo importante el establecer un marco legal para asegurar que las empresas mineras nacionales o extranjeras, consuman un porcentaje alto de productos fabricados en México, lo que estimularía la industrialización y, de ser posible, a nivel regional. Es una forma de asegurar la sustentabilidad económica de la región no sólo en la etapa de operación sino también en la postoperación.

Específicamente, en la etapa de exploración se requiere apoyar el esfuerzo de SGM para acelerar el inventario nacional del contenido de litio en salmuera, arcillas y roca-dura. Estos estudios pueden ser realizados por centros de investigación y universidades bajo convenios específicos que cumplan con los requerimientos del gobierno federal de México. Se debe contemplar la caracterización lo más completa posible de los minerales, tanto química, como mineralógica. De acuerdo con Aleida Azamar, es complicado para SGM realizar una evaluación tan compleja en tan poco tiempo con los limitados recursos económicos y humanos con los que cuenta.²⁴ Es importante que el Gobierno Federal aumente su apoyo a esta dependencia.

24 <https://dialogochino.net/en/extractive-industries/364343-interview-mexico-lithium-we-wont-see-100-mexican-process-for-a-decade/> (Consulta: 22 septiembre 2023).

Entre los estudios a realizar, además de elaborar un inventario, está la confirmación de la determinación de contenido de litio (ley) por fracción granulométrica, sobre todo en las arcillas, para ver si existe o no algún tamaño en el cual se concentre, lo que permitiría, por un lado, poder caracterizar de mejor manera la especie mineralógica predominante conteniendo al litio y, por otro lado, evaluar la conveniencia de aplicar procesos de preconcentración, lo cual podría llevar al desarrollo de procesos más eficientes y económicos. Este cambio implica un importante ahorro de energía en la molienda y calcinado, en caso de requerirse, pues se eliminan del proceso los materiales sin valor. La preconcentración puede ser posible únicamente si existen fases diferenciadas de las arcillas, en cuanto a peso específico (gravimetría) o carga superficial (flotación). Esta información también permitirá definir si existen otros métodos de beneficio técnica y económicamente viables.

Por otra parte, el tipo de enlace del litio dentro de las arcillas no ha sido estudiado. La fuerza de retención es diferente dependiendo de las reacciones que ocurrieron durante la formación de la arcilla y en qué fracción se encuentra concentrado el litio. Inclusive, no se puede descartar que puede haber sitios en que el litio esté sorbido (adsorción física, química y oclusión) y no formando enlaces químicos típicos muy fuertes, que ocurren dentro de la red de la arcilla, cuando el litio sustituye a otros cationes.

En la etapa de recuperación del litio por procesos térmicos se requiere estudiar el efecto del tamaño, tipo y calidad de los pellets del mineral arcilla para aprovechar y distribuir el calor calorífico. Existe la evidencia en la industria siderúrgica que el cambio de mineral en trozo de ½ a 1 ½ pulgada contra el pellet de mineral de hierro



con tamaño de ½ pulgada, aumentó la capacidad de producción del alto horno en poco más del 60%, y de la viabilidad y eficiencia de procesos hidrometalúrgicos.

Se debe continuar el estudio de proyectos que no requieran un alto gasto de energía calorífica o simplemente no lo necesiten, y reduzcan al mínimo el gasto de agua, inclusive explorar el uso de agua marina, lo que implica conocer el efecto de la composición del agua utilizada en el proceso. Así como minimizar la generación de residuos bajo una visión de economía circular.

Respecto a la producción de baterías, Aleida Azamar²⁵ indica que hay cinco pasos a considerar: minería, refinación, procesamiento químico, ensamblaje de celdas y ensamblaje de las baterías. Considera que China tiene la mayor

25 <https://dialogochino.net/es/actividades-extractivas-es/64343-entrevista-aleida-azamar-litio-mexico/>

capacidad, aunque también incluye a Japón en algunas de las etapas. Considera que ni Estados Unidos ni Australia están participando en esas etapas. En este tema también se requiere de un esfuerzo de desarrollo tecnológico muy importante para que en el futuro México pueda contar con fortalezas que le permitan mayor independencia económica.

Cabe mencionar que el número tan limitado de estudios científicos que hay en el país, incluyendo etapas tempranas de la exploración, se debe en gran parte a la carencia de muestras representativas de los yacimientos, por lo que urge establecer convenios con el SGM para que los investigadores puedan apoyar en aspectos científico-técnicos, y que Conacyt se involucre apoyando los estudios en forma inmediata. Para iniciar la colaboración con centros de investigación es necesario contar con muestras representativas de diferentes sitios.

Para terminar, se listan otros aspectos que requieren de estudio:

- Efecto de la composición de la carga de reactivos en la extracción de litio.
- Efecto del tamaño de la partícula calcinada en la formación de sulfato de sodio (subproducto), y el tiempo de lixiviado y filtrado en la eficiencia de la extracción de sulfato de litio en fase soluble.
- Efecto de la temperatura y tiempo de calcinación en la eficiencia de formación de sulfato de sodio y su extracción, especialmente si se determinan cambios en la carga de reactivos, respecto a las determinadas por el proceso Bacanora. En aspectos de ecología y desarrollo social, se requiere realizar estudios integrales de la ecología regional para evaluar sustentadamente el riesgo ambiental para el entorno y población, y llevar a cabo estudios sociales para implementar a corto plazo proyectos que favorezcan a las poblaciones locales. Cada proyecto autorizado debe contar con un plan de manejo de residuos y un plan de cierre, que sean alimentados a través del tiempo de operación. Los funcionarios de Semarnat, incluyendo a Profepa, deberán prepararse en los fundamentos de los métodos y las operaciones que lleven a cabo los proyectos autorizados, para que los marcos legales que hasta el momento existen, o las normas futuras, estén sustentados y las inspecciones también.

Y en síntesis, si México pierde la oportunidad del actual contexto internacional para iniciar la producción de litio, dado los rápidos cambios

tecnológicos, puede quedar fuera del creciente mercado, por lo que es necesario sensibilizar a los funcionarios para que conozcan a fondo los procesos técnicos, los requerimientos de capital y las acciones obligadas, incluyendo el marco legal que facilite la inserción de México en el proceso de cambio de fuentes alternas de energía, desde la producción de elementos críticos como es el litio, hasta la fabricación de baterías para almacenar energía. Cabe señalar que se requiere acelerar la producción de litio, cuidando la protección de los intereses nacionales, pero con una visión práctica, pues el cambio a energías limpias es un proceso acelerado que irremediamente se va a imponer a nivel mundial, entendiendo que los países que no logren participar quedarán prácticamente fuera del desarrollo.

Referencias

- Gutiérrez-Ruiz, Margarita E. y Amaro-Ramírez, Daniel. El litio en el contexto internacional. *Revista Pluralidad y Consenso*. Instituto Belisario Domínguez-Senado de la República, México.
- Morales Álvarez, Rocío (2022). *Modelo de gobernanza del litio en México* SAE-ASS-03-22. Subdirección de Análisis Económico. Cámara de Diputados, LXV Legislatura, México.
- Portales-Martínez. B., Lira-Barrera I., Rodríguez-Romero, A., Vite-Olvera, D., Gutiérrez- Caballero, Martínez Martínez, S. y Reguera-Ruíz, E. (2022). *Lithium in Mexico*. Conference international workshop on energy conversion and storage 2022. https://static1.squarespace.com/static/5f70de3929824862531f730c/t/634d5a9a68e7d7225c73bffb/1666013850515/AB_BPM+I-WECS+2022.pdf. Consulta: 29 septiembre 2023.
- REMA (2023). *Mining Watch Canadá. Explotación de litio en México ¿interés público o extractivismo?*

Análisis comparativo del rol estatal en el Triángulo del litio



Mario Campa

Mario Campa es licenciado en Economía y en Ciencia Política por el ITAM. Maestro en Administración Pública por la Universidad de Columbia. Fue Director de Análisis Económico en Grupo Bursátil Mexicano y consultor externo de la Organización Internacional del Trabajo. Es profesor de Economía del ITESM, campus Sonora, analista macroeconómico para la empresa TradingEconomics.com, asesor externo del Instituto Estatal Electoral y de Participación Ciudadana y columnista de *El Imparcial*. Se especializa en política pública y análisis macroeconómico.

87

Resumen

La política interna de explotación y regulación del litio viró en años recientes. En abril del 2022, el gobierno de México declaró al litio de utilidad pública mediante una reforma a la Ley Minera. El papel del Estado en la creación y regulación de los mercados de litio, con sus alcances y limitaciones, ha evolucionado a nivel global. Existe un creciente consenso sobre la necesidad de intervenir para asegurar el suministro de insumos esenciales para la transición energética. En América, el Triángulo del litio integrado registra contrastes aleccionadores para países

sin experiencia previa en la extracción de litio, en particular aguas arriba en la cadena de valor. Un análisis comparativo permite trazar posibles avenidas para el tránsito de políticas públicas nacionales con sello propio orientadas al desarrollo con bienestar. El extractivismo suele dejar pocas derramas allende el empleo sectorial y es propenso a detonar nuevos conflictos sociales, en particular en zonas con estrés hídrico.

Palabras clave: litio, Triángulo, políticas, regulación, Estado, nacionalización.

Abstract

Domestic lithium exploitation and regulation policy has changed in recent years. In April 2022, the Mexican government declared lithium to be of public utility through a reform to the Mining Law. The role of the State in the creation and regulation of lithium markets, with its scope and limitations, has evolved globally. There is a growing consensus on the need to intervene to ensure the supply of essential inputs for the energy transition. In the Americas, the integrated lithium triangle presents sobering contrasts for countries with no previous experience in lithium extraction, particularly upstream in the value chain. A comparative analysis makes it possible to map out possible avenues for the transition to national public policies with their own hallmarks oriented towards development with well-being. The extractivism usually leaves few spillovers beyond sectoral employment and is prone to detonate new social conflicts, particularly in water-stressed areas.

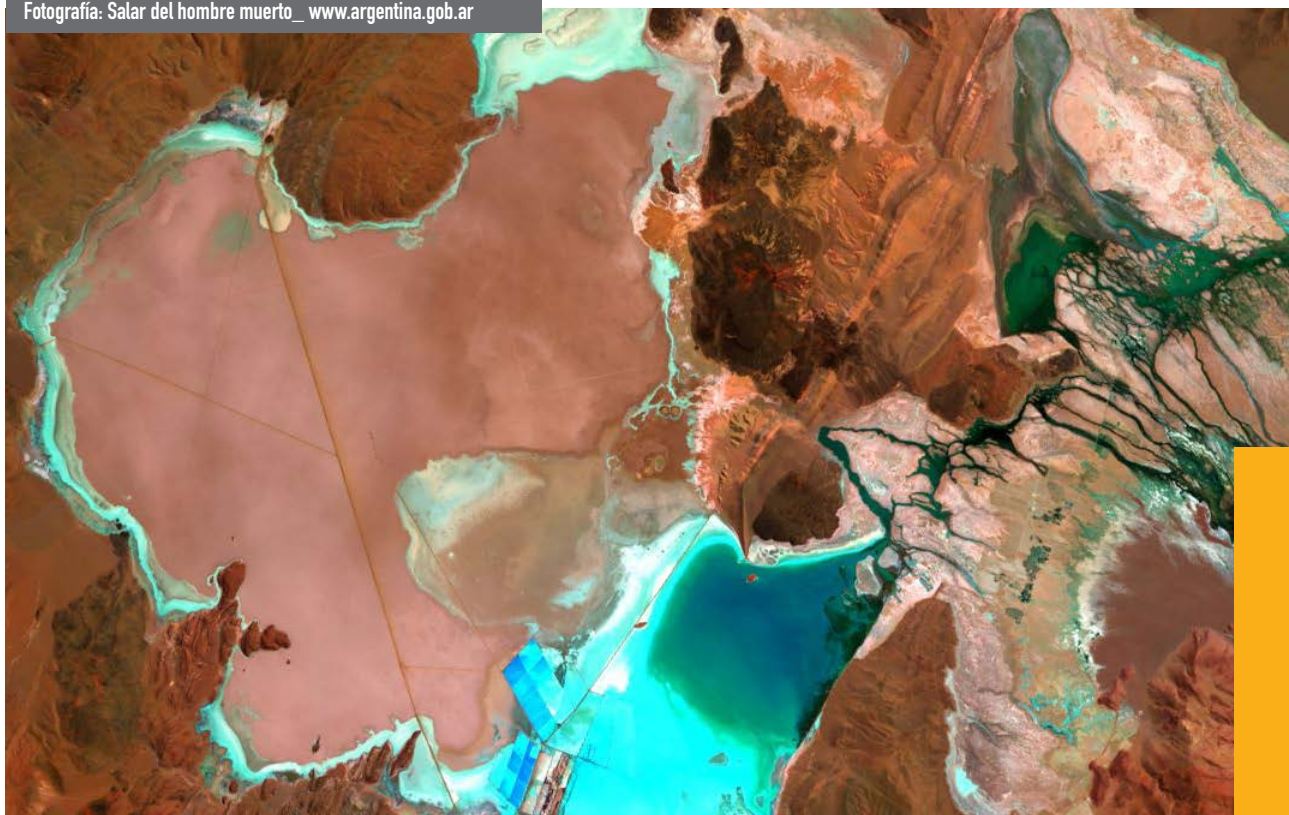
Keywords: lithium, Triangle, policy, regulation, state, nationalization, state-owned, lithium, nationalization.

El litio es indispensable para la transición energética. Por su alta densidad energética en poco volumen, es un insumo con pocos sustitutos para la fabricación de baterías que alimentan vehículos eléctricos de bajas emisiones de carbono. El maridaje de una creciente demanda con una oferta rígida gatilló un alza global de su precio y capturó la atención de las naciones. De un uso predominante farmacéutico, el litio pasó en breve a ser estratégico

para la industria automotriz: solo en el 2022, la exploración mundial de litio escaló 90% anual (AIE, 2023). México, país minero y fabricante de vehículos, no es ajeno al gran giro industrial del siglo XXI.

La política interna de explotación y regulación del litio viró en años recientes. En abril del 2022, el gobierno de México declaró al litio de utilidad pública mediante una reforma a la Ley Minera. En agosto de ese año, el organismo público descentralizado Litio para México (LitioMx) fue creado con el objeto de explorar, explotar, sacar beneficio y aprovechar el litio ubicado en territorio nacional. En febrero de 2023, la reserva minera “Li-Mx 1” fue decretada en un área de 234 855 hectáreas en la zona serrana de Sonora. Con esta serie de medidas, el Estado se encaminó a la producción minera directa, actividad exclusiva en las últimas décadas de la iniciativa privada. Se rompió así una inercia donde las agencias estatales fueron limitadas al papel de explorador (SGM) y regulador (SE), al compás de cambios internacionales de hondo calado.

El papel del Estado en la creación y regulación de los mercados de litio, con sus alcances y limitaciones, ha evolucionado a nivel global. Existe un creciente consenso sobre la necesidad de intervenir para asegurar el suministro de insumos esenciales para la transición energética. El Rastreador de políticas para minerales críticos de la Agencia Internacional de Energía (AIE) identificó cerca de 200 políticas públicas y regulaciones en el mundo, con más de 100 promulgadas en años recientes (AIE, 2023). En América, el Triángulo del litio integrado por Argentina, Bolivia y Chile registra contrastes aleccionadores para un país como México sin experiencia previa en la extracción de litio, en particular aguas arriba en la cadena de valor.



Un análisis comparativo permite trazar posibles avenidas para el tránsito de políticas públicas nacionales con sello propio orientadas al desarrollo con bienestar.

Por lo demás, en las siguientes líneas las y los lectores podrán conocer las diferencias y similitudes en los procesos de desarrollo de la industria del litio en Argentina, Bolivia y Chile, así como las enseñanzas que esas experiencias arrojan para México.

Argentina: política subnacional extractivista

El caso argentino es único en su tipo entre los grandes productores de litio en América Latina. Son las provincias —los gobiernos subnacionales— las que ostentan competencias sobre los recursos naturales.

Argentina es el país con condiciones más abiertas al mercado para explorar los salares e instalar nuevas explotaciones. Contrario a las experiencias boliviana y chilena, Argentina carece de un marco regulatorio específico para la actividad litífera y regula la actividad minera en su conjunto (León y Sánchez, 2020).

La normativa abierta a las inversiones privadas en comparación con Bolivia y Chile permitió la llegada de empresas extranjeras como Orocobre (Australia), Lithium Americas (Canadá), Ganfeng (China) y Eramet (Francia). Este marco normativo recibió una fuerte influencia del Banco Mundial en la década de 1990 como parte de una estrategia de federalización en distintos sectores económicos (León y Sánchez, 2020). Específicamente, en 1993, la Ley de Actividad Minera número 24 196 estableció estabilidad fiscal por 30 años y beneficios im-

positivos a los emprendimientos mineros, y en 1994 el artículo 124 de la Constitución de la Nación Argentina estipuló que “corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos existentes en su territorio”. En 1997, la Reforma del Código de Minería estableció el actual régimen de propiedad minera al diferenciar la propiedad superficiaria de la propiedad del subsuelo y abrir la posibilidad de explotación privada de éste cuando el particular abone un canon minero, invierta capital mínimo y lleve adelante la explotación (*Ibid.*, 2020).

Las antedichas reformas jurídicas sentaron las bases para la descentralización de la política pública en torno a la minería. Serían las provincias cercanas al Triángulo del litio compuesto por los salares de Hombre Muerto (Argentina), Uyuni (Bolivia) y Atacama (Chile) las que establecerían las reglas del juego para la exploración y explotación del litio: Catamarca, Salta y Jujuy, destacando esta última por su participación activa en la actividad minera. En el año 2011, Jujuy publicó el Decreto-Acuerdo número 7 592 que declara “las reservas minerales que contengan litio como recurso estratégico” y ese mismo año creó la empresa Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE) mediante el Decreto-Acuerdo número 7 626.

Con la creación de una empresa pública con amplio margen para entrar en actividades productivas en energía, transporte, minería y otros, Jujuy sentó las bases para un mayor beneficio social de la producción de litio. A través de JEMSE, la provincia adquirió una participación accionaria del 8.5% en Sales e Jujuy y Minera Exar, además de asegurarse prioridad de venta sobre el 5% de la producción en Sales de Jujuy. A pesar de un relativo éxito en la explotación, un reto mayor que ha enfrentado la provincia es el

de añadir mayor valor agregado con la producción de cátodos o baterías de litio, con esfuerzos hasta ahora infructíferos.

Si bien uno de los rasgos torales del caso argentino es la poca promoción de encadenamientos productivos aguas abajo, la Mesa de Competitividad del Litio y del Consejo Federal de Minería (Cofemin) tienen un papel activo de coordinación y logística aguas arriba. Por su parte, el Servicio Geológico Argentino (Segemar) aporta en el conocimiento de los salares y de la hidrogeología (López *et al.*, 2019), mientras que el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (Conicet) intenta incursionar, en alianza con Y-TEC —brazo tecnológico-productivo de YPF y Conicet— y las universidades, en la fabricación de baterías para generar mayor valor agregado en el país. Los esfuerzos por abastecer las necesidades del transporte público y las viviendas remotas con baterías de producción nacional avanzan (Conicet, 2023).

En general, el caso argentino y su gobernanza anclada en las provincias ofrece contrastes ilustrativos. El marco normativo federalizado y favorable al mercado alimenta la proliferación de proyectos de exploración y explotación (ver Tabla 1). Sin embargo, la escala de las provincias y la falta de una política nacional vertical impide que el país abandone el extractivismo por una política industrial robusta. Como limitante, la presencia de mineras extranjeras promueve el envío de materia prima al Triángulo Asiático del Litio (China, Corea y Japón) para su encadenamiento al sector automotriz. Esta desarticulación limita el valor agregado en territorio argentino y eleva la vulnerabilidad ante choques externos de precio. Queda por verse si el gobierno central, con su escala y capaci-

Tabla 1. Nuevos proyectos de litio en Argentina

Dueño	País del socio principal	Inversión (mdd)	Provincia	Proyecto	Fase	Arranque de producción	Volumen máximo esperado (miles Mt)
Livent Corp	EEUU	1050	Catamarca	Fénix	Producción	2023	40
Allkem, Toyota, Jujuy	Australia	365	Jujuy	Olaroz	Producción	2022	37.8
Ganfeng	China, EEUU	741	Jujuy	Caucharí-Olaroz	Construcción	2023	40
Ganfeng	China	843	Salta	Mariana I, II, III	Construcción	ND	20
Zijin	China	380	Catamarca	Tres Quebradas	Construcción	2023	20
Posco	Corea del Sur	830	Salta, Catamarca	Hombre Muerto, Sal de Oro	Construcción	2024	25
Eramet, Tsingshan	Francia, China	595	Salta	Centenario/Ratones	Construcción	2025	24
Allkem	Australia	271	Salta	Sal de Vida	Construcción	2023	15
Ganfeng	China, EEUU	338	Salta	Pozuelos-Pastos Grandes	Factibilidad	ND	25
Rio Tinto	Australia	770	Salta	Salar del Rincón	Factibilidad	ND	25
Allkem	Australia	446	Jujuy	Salar de Caucharí	Pre-factibilidad	ND	25
Lake Resources	Australia	NA	Jujuy	Caucharí	Pre-factibilidad	ND	ND
Lake Resources	Australia	544	Catamarca	Hombre Muerto/Kachi	Preliminar	ND	50
Galan Lithium	Australia	408	Salta	Hombre Muerto/Candelas	Preliminar	ND	14
Galan Lithium	Australia	439	Catamarca	Hombre Muerto Oeste	Preliminar	ND	20
Lithium South Dev	ND	93	Salta	Hombre Muerto Norte	Preliminar	ND	5
Argosy Minerals	Australia	141	Salta	Rincón	Preliminar	ND	10

Fuente: S&P Global Market Intelligence con información pública y Ministerio de Minería de Argentina, a junio de 2023. *China's global reach grows behind critical minerals*, agosto 2023.

ND= no disponible. Mt= toneladas métricas de carbonato de litio equivalente (LCE)

dad logística, logrará en un futuro crear nuevas capacidades de oferta que eleven el contenido nacional en la producción de cátodos y baterías para acelerar la transición a la electromovilidad.

Bolivia: oportunidades y desafíos del valor agregado

Bolivia es un caso especial de estudio en América Latina. El Salar de Uyuni es el más grande del mundo y abarca una superficie de más de 10 000 km² de sal blanca brillante. De acuerdo con cifras del Servicio Geológico de los Estados Unidos, Bolivia cuenta con ingentes reservas de litio (ver Gráfica 1). Y, sin embargo, está apenas por alcanzar una producción a escala industrial.

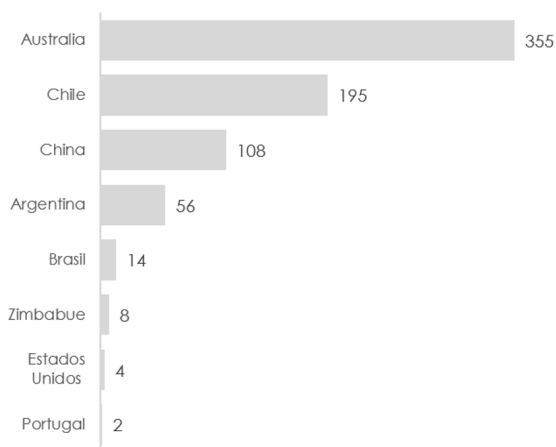
Un matiz relevante para estudiar el caso boliviano es su historia jurídica accidentada.

La primera exploración de litio de universidades e institutos de investigación nacionales y extranjeros data de los años setenta, en paralelo al interés termonuclear que despertó en Chile. No obstante, fue hasta 1985 cuando se decidió explotar yacimientos con la creación del Complejo Industrial de Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni (CIRESU) mediante la Ley número 719, formada por el Estado nacional y entidades y organizaciones sociales regionales. En 1988 se invita a la empresa Lithco —actualmente Livent— a explotar Uyuni (León y Sánchez, 2020).

Un conflicto fundamental desatado condicionó la historia productiva de Bolivia. El gobierno de Víctor Paz Estenssoro (1985-1989) dudó desde los inicios entre la conveniencia de una licitación pública internacional o una invitación

Gráfica 1. Comparativas internacionales

Países con mayor producción de litio (Mt)



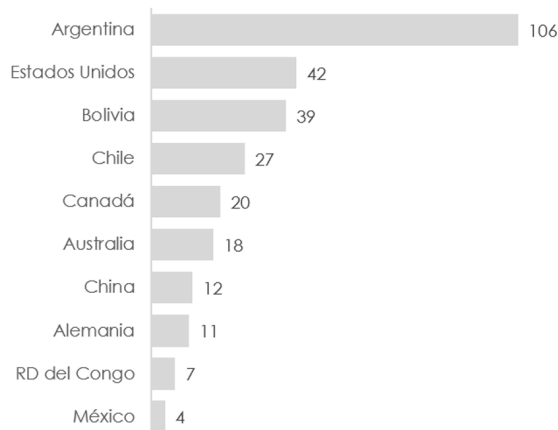
En territorio nacional. Al 31 de diciembre, 2022.

Mt= toneladas métricas

Fuente: S&P Global Market Intelligence

China's global reach grows behind critical minerals, agosto 2023.

Países con mayores recursos y reservas de litio (MMt)



En territorio nacional. Al 31 de marzo, 2023.

MMt= millones de toneladas métricas

Fuente: S&P Global Market Intelligence

China's global reach grows behind critical minerals, agosto 2023.

92

directa. Al elegir la segunda opción por razones técnicas, de mercado económicas y geopolíticas (Orellana, 1995) e invitar a Lithco a explotar el salar, el gobierno enfrentaría una fuerte oposición de las entidades regionales potosinas que incluyó huelgas generales en el siguiente gobierno. Ello detonaría la anulación del primer contrato por invitación y finalmente a una licitación internacional que, tras una serie de negociaciones parlamentarias sobre los términos de referencia que incluyó modificaciones al marco fiscal, llevaría al abandono definitivo del proyecto en enero de 1993 (Iño, 2017).

La actividad minera litífera quedaría olvidada hasta la presidencia de Evo Morales (2006-2019). Fue la Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Altiplano Sud (FRUCTAS) la que presentó el proyecto de recortía estatal (León y otros, 2020). El Decreto Supremo número 29496 declaró en 2008 “de prioridad nacional la industrialización del Salar de

Uyuni para el desarrollo productivo, económico y social del Departamento de Potosí”. De inmediato, la Constitución Política del Estado promulgada en 2009 estableció el “carácter estratégico y de interés público para el desarrollo del país” de los recursos naturales y una serie de artículos refrendaron el carácter estratégico de los salares y la actividad minera en ellos. En 2010, la recién creada Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) presentó la Estrategia de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia que especificaría distintas fases para el desarrollo vertical de las cadenas de valor del litio, incluyendo la producción de baterías y materiales catódicos (León y Sánchez, 2020).

Bolivia registra avances significativos desde entonces. En agosto de 2012 se inauguró la primera planta piloto de cloruro de potasio. En enero 2013 se inauguró la primera planta piloto de carbonato de litio. En febrero de 2014 se inauguró la planta piloto de baterías de ion litio.

En agosto de 2017 inició operaciones la planta piloto de materiales catódicos. En octubre de 2018 arrancó la primera planta a escala industrial de cloruro de potasio. En julio 2022 abrió la primera planta privada de baterías de ion litio en alianza con la empresa estatal Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), creada en 2017 mediante la Ley número 928 “para regular, producir e industrializar los recursos evaporíticos en el país”. La inauguración de la planta industrial de carbonato de litio está prevista para arrancar operaciones en el segundo semestre del 2023. Bolivia pasará en pocos años a ser uno de los pocos jugadores mundiales en el sector a pesar de retrocesos periódicos normales en una industria nueva y de alto riesgo.

La estrategia boliviana y su marco normativo se sitúa en las antípodas del caso argentino

(León, 2020). El Estado controla todo el eslabón de la cadena productiva del litio a través de la empresa estatal y limita las inversiones en actividades de industrialización con porcentajes accionarios minoritarios para las empresas privadas. Si bien la actividad minera pudo haberse rezagado en comparación con los pares regionales, la explicación descansa en los conflictos sociales y la fallida licitación internacional y no en la curva de aprendizaje típica del sector.

Si bien Bolivia inició más tarde la etapa productiva, las alianzas estratégicas entre el Estado y diversos actores privados internacionales podrían catalizar un salto significativo que lleve a un mayor valor añadido en territorio nacional en comparación con Argentina y Chile, cuyas actividades privadas se han focalizado en la extracción, mientras las actividades comerciales

Fotografía: Sifan Liu_Salar de Uyuni



se concentran en Asia e impiden el desarrollo de industria química-manufacturera nacional anclada al litio. No es descartable que Bolivia logre articular de manera vertical una cadena de mayor valor en comparación con la de sus pares regionales.

Chile: vacíos y virajes de política industrial

La historia del litio chileno data de los años sesenta y setenta del siglo pasado. El primer descubrimiento de litio se remonta a 1962, efectuado por la empresa estadounidense Anaconda. Fue una década después cuando el Instituto de Investigaciones Geológicas publicó un informe sobre el potencial de recursos de litio del Salar de Atacama, complementado también por estudios de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y la minera estadounidense Foote Mineral Company (Lagos, 2018), empresa que ya desde 1966 extraía litio en Silver Peak, Nevada. De este inicio destacan dos aspectos: el rol activo del Estado y las fechas remotas, relevantes para la evolución posterior y la ventaja inicial con respecto a otros países sudamericanos.

La exclusividad estatal estuvo presente desde los inicios. La dictadura militar publicó en noviembre de 1979 el Decreto Ley No. 2 886 que reservó el litio para el Estado por razones de interés nacional, por entonces ligadas al armamento termonuclear. Con ello, el litio quedó excluido del régimen concesional minero y se sentaron las bases del marco jurídico vigente. Es de particular relevancia que los títulos mineros constituidos antes del 1 de enero de 1979 quedaban como excepción; estas concesiones desarrollarían después una historia propia que

conecta con la actualidad. Destacaban entre aquellos yacimientos los del Salar de Atacama, entonces propiedad parcial del Estado a través de la CORFO y hoy epicentro de dos de los proyectos productivos más grandes del mundo, operados por las mineras Albemarle y SQM (CNL, 2015).

En 1975, Foote Mineral Company y el gobierno de Chile se asociaron para crear la Sociedad Chilena de Litio (SCL) y explorar el desierto de Atacama con una participación del 55 y 45%, respectivamente (Lagos, 2012). Esa primera asociación estratégica sustenta casi en su totalidad la producción actual del país. El Estado aportó las concesiones en un Convenio Básico y a cambio se asignó una cuota de producción de litio (Gravel, 2015), sentando las bases de la concesión vigente de Albemarle. En paralelo, CORFO licitó en 1983 un segundo proyecto en el salar de Atacama para producir potasio, boro y litio, resultando ganador el consorcio Minsal integrado por Amax (63.75%), CORFO (25%) y Molymet (11.25%), estableciendo otra cuota de producción, opciones preferentes de compra y una regalía del 6.8% (COCHILCO, 2009). Ese segundo contrato sentó las bases de la concesión vigente de SQM.

Entre 1987 y 1995, el Estado vendió su participación minoritaria y los proyectos de asociación para la explotación de litio (Poveda Bonilla, 2020). La primera privatización, la del 45% del primer proyecto en el salar de Atacama, se saldó entre 1988 y 1989 en solo 15.2 millones de dólares. La segunda, donde originalmente CORFO poseía el 25% de Minsal, se cerró en 1994-1995 con una extensión de la concesión aparejada donde SQM mantendría la operación hasta el año 2030 —año en que el Estado la recuperará y podría ponerla a disposición de una

nueva empresa estatal de litio o de la empresa nacional de cobre (Codelco)—. Como parte de las renegociaciones, también se puso fin al plazo indefinido de la primera concesión y se fijó su expiración en el año 2043.

Los últimos cambios jurídicos a la minería de litio en Chile se produjeron en un contexto de transformaciones mundiales. En 1998, la demanda global de litio para vidrios y cerámicas constituían 47% y las baterías solo el 7% (CO-CHILCO, 2009); hoy la electromovilidad gana participación de mercado y se espera que concentre la gran mayoría de la demanda mundial. Por otra parte, Chile aportaba en 2003 cerca de la mitad de la producción mundial de litio y hasta 2011 fue líder productor; hoy Australia es el gran actor global (USGS, 2023). Esta combinación de giros de oferta y demanda catalizó la creación de una Comisión Nacional de Litio (2014) que recomienda políticas públicas y lidera unas nuevas relaciones de mayor regulación con las empresas mineras.

Hoy en Chile se discuten mecanismos para que la producción nacional genere beneficios directos para las comunidades y la población general. Cláusulas adicionales fueron negociadas en los últimos diez años para las dos concesiones de Atacama. Como parte de los cambios jurídicos, el Estado chileno aseguró un porcentaje de la producción a precio preferente, misma que asignará a empresas de fabricación de baterías o sus componentes para generar mayor valor añadido. En el 2023, la ensambladora china BYD acordó invertir 290 millones de dólares para establecer una planta de cátodos de litio en la Región de Antofagasta (Attwood y Lara, 2023).

Todo considerado, el caso chileno arroja lecciones valiosas. Destaca la larga data de

presencia tanto de mineras privadas como del Estado en la creación de mercados. Aventurar comparativos superficiales sobre la historia de la minería de litio en Chile contra sus pares regionales puede subestimar la experiencia acumulada tras décadas de intervenciones y regulación, como el reciente involucramiento estatal al renegociar términos que durante décadas fueron más favorables para las mineras privadas que para las comunidades aledañas.

Contra el lugar común, el Estado chileno acompañó la minería de litio desde sus inicios en los años sesenta. Constriñó la producción a pocas concesiones con participación estatal y, después de privatizarlas en términos desfavorables, viró para ampliar el limitado valor agregado con política industrial activa que asignará producción a fabricantes a cambio de inversión en eslabones deshabitados de la cadena. La creación de una empresa paraestatal podría asumir por primera el control productivo de las dos concesiones de litio que expiran entre 2030 y 2043: un hito impensable al comienzo del siglo.

Consideraciones finales

El llamado Triángulo del litio sudamericano ofrece experiencias enriquecedoras para los hacedores de política pública. Un análisis comparativo mínimo de la gobernanza que rige a los tres países que integran la región de salares muestra diferencias y similitudes indispensables para estudiar el rol del Estado en la creación de mercados de litio.

En el caso argentino, el régimen de explotación abierto o promercado puede acelerar la llegada de inversión extranjera. Sin embargo, el contenido nacional y el valor agregado pueden disociarse de la inversión y crear exiguas derra-



mas a nivel comunitario allende el empleo. Por otro lado, el papel de los gobiernos provinciales ilustra el limitado alcance de escala y los problemas prácticos que padecen los gobiernos subnacionales para agregar capas de complejidad a las cadenas de valor.

El caso boliviano arroja luz sobre la importancia de acompañar la producción de litio con intervenciones, alianzas estratégicas y beneficio social directo. Fueron gobiernos proempresariales los que atrajeron empresas extranjeras por invitación y licitación pública a explorar el Salar de Uyuni. Sin embargo, protestas y huelgas congelaron el desarrollo de la minería de litio hasta la llegada de Evo Morales a la presidencia. La nacionalización parece haber dotado de mayor legitimidad la actividad y logró en poco tiempo —en

comparación al largo historial chileno— insertar al Estado en distintos eslabones de la cadena de valor. A partir de una reciente apertura y alianzas estratégicas, Bolivia podría convertirse en el primer país latinoamericano en no solo controlar la extracción de litio, sino en agregar aguas abajo, un valor que otros países no han alcanzado mediante la iniciativa privada, cuya desarticulación y escala logística pueden inhibir una política industrial más incluyente e innovadora.

El caso chileno guarda sus propias enseñanzas. Por un lado, la historia de la exploración y el interés del Estado es de larga data; la ventaja sobre otros países latinoamericanos descansa parcialmente en la experiencia acumulada y en estudios tempranos de los salares. Por otro, advierte que el rol del Estado como socio minorita-

rio de proyectos de litio (y potasio) puede quedar comprometido cuando el espíritu privatizador recorre un país. Si bien Chile viró en la última década hacia políticas cuyo objetivo es generar mayor valor agregado y social en territorio nacional, los horizontes de planeación se dilatan y problematizan cuando conviven concesiones a empresas privadas con marcos de gobernanza propios de una nacionalización parcial o completa. A favor de Chile juega que una recuperación de la rectoría estatal puede recargarse en las empresas y agencias públicas con experiencia, como Corfo, Enami y Codelco. La experiencia pública acumulada en el sector minero facilitaría una rápida incursión a la producción de litio y, como sucede en el caso boliviano, podría despresurizar demandas comunitarias legítimas por exiguo beneficio local.

México puede derivar y aplicar lecciones de las experiencias sudamericanas con respeto a su historia nacional mediante una gobernanza propia. De Argentina pueden estudiarse con mayor profundidad los incipientes esfuerzos por producir baterías a pequeña escala orientadas al transporte público eléctrico. De Bolivia es valiosa su reciente apertura a asociaciones estratégicas conservando la rectoría del Estado, así como su diálogo con las comunidades. De Chile se pueden estudiar a detalle los últimos esfuerzos por alocar una parte de la producción nacional para atraer inversiones aguas abajo en la cadena, además del gobierno corporativo de Codelco, empresa estatal de cobre con bagaje suficiente para incursionar eventualmente en la minería de litio.

Cualquiera que sea la ruta adoptada por México, acaso la lección fundamental de los procesos latinoamericanos es que el extractivismo suele dejar pocas derramas allende el

empleo sectorial y es propenso a detonar nuevos conflictos sociales, en particular en zonas con estrés hídrico. La minería en América Latina apenas comienza a ser vista como un área de oportunidad para la industrialización acelerada en plena transición energética y la integración vertical con cadenas de alto valor agregado. México no es ajeno a la geopolítica cambiante y al giro tecnológico vigente. Con la participación activa del Estado en la creación de nuevos mercados el crecimiento puede promover un genuino bienestar duradero.

Referencias

- Agencia Internacional de Energía (AIE) (2023a). *Critical Minerals Market Review 2023* [en línea]. <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023/key-market-trends>
- Agencia Internacional de Energía (IEA) (2023b). *Critical Minerals Policy Tracker 2023* [en línea]. <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-policy-tracker>
- Attwood, J. y Lara L. (2023). BYD avanza en proyecto de litio de US\$290 millones en Chile. *Bloomberg Línea*. <https://www.bloomberglinea.com/latinoamerica/chile/byd-avanza-en-proyecto-de-litio-de-us290-millones-en-chile/> BYD avanza en proyecto de litio de US\$290 millones en Chile (bloomberglinea.com).
- Comisión Chile del Cobre (COCHILCO) (2009). *Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Litio*. Santiago de Chile.
- Comisión Nacional de Litio (CNL) (2015). *Informe Final. Conclusiones: Principales propuestas para una Política Pública*. Santiago, Ministerio de Minería.
- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) (2023). De las salmueras a las baterías de iones de litio. <https://www.conicet.gov.ar/de-las-salmueras-a-las-baterias-de-iones-de-litio/>
- Gravel Ortega, L. (2015). *Litio y las dificultades para la obtención de una calificación ambiental favorable en el Salar de Atacama. Análisis de las causas*.

- Santiago de Chile [<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136242>].
- lño Daza, W. (2017). Historia del extractivismo del litio en Bolivia. El movimiento cívico de Potosí y la defensa de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni (1987-1990). *RevIISE - Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, vol. 10, núm. 10, 173-188, Universidad Nacional de San Juan. Instituto de Estudios Bolivianos. <https://www.redalyc.org/journal/5535/553559586014/html/>
- Lagos G. (2012). *El Desarrollo del Litio de Chile: 1984-2012*. Programa de Investigación en Economía de Minerales, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- (2018). *El Desarrollo del Litio de Chile: 1984-2017*. Grupo Editorial Editec.
- León, M., Muñoz, C. y Sánchez, J. (2020). *La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/124), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- López, A., Obaya, M., Pascuini, P., Ramos, A. (2019). *Litio en Argentina. Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor*. Buenos Aires, Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Orellana, W. (1995). *El Litio: una perspectiva fallida para Bolivia*. Estudio de Caso No 3. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Poveda Bonilla, R. (2020). *Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile* (serie Recursos Naturales y Desarrollo, No. 195) (LC/TS.2020/40) Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Servicio de Prospección Geológica de los Estados Unidos (USGS) (2023). *Mineral commodity summaries 2023*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>

¿Por qué la necesidad de enfrentar el reto del calentamiento global incentiva la demanda mundial de litio?

Jaime Arturo Del Río Monges



Candidato a doctor en Estudios de Desarrollo en la Universidad de Sussex (Reino Unido), en Ecología y Gestión Ambiental en el Centro de Investigaciones Atmosféricas y Ecológicas, y en Administración Pública en el Instituto Nacional de Administración Pública (INAP); asimismo, cuenta con una maestría en Reducción de Pobreza y Administración del Desarrollo por la Universidad de Birmingham (Reino Unido). Lic. en Economía por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE). Desde 2014 es investigador "C" en la Dirección General de Finanzas del Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República. Anteriormente fue director general de Planeación del Gobierno de Jalisco, director en la Auditoría Superior de la Federación, director en la SAGARPA, especialista en FIRA-Banco de México, entre otros.

Ligia Aleida Aburto Martínez



Candidata a doctora en Ecología y Gestión Ambiental en el Centro de Investigaciones Atmosféricas y Ecológicas; maestra en Comercio Exterior por el Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y es Lic. en Relaciones Internacionales por la UNAM. Se ha desempeñado como investigadora en el Centro de Investigación e Implementación de Impulsos para la Salida Sostenible del Subdesarrollo (CIISSS), así como directora de Comercio Exterior en CDM-MEX. Anteriormente fue profesora titular en la Universidad de Morelia, y profesora asistente en la UNAM.

99

Resumen

El calentamiento global es el principal reto que enfrenta la humanidad, y ha incentivado mejoras tecnológicas y directrices gubernamentales orientadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la activi-

dad humana. La quema de combustibles fósiles es la principal fuente de GEI antropogénicas. La tercera revolución energética mundial que podría consolidarse entre 2040-2050 consistirá en la sustitución de los combustibles fó-

siles por energías renovables como la principal fuente de energía. Diversas empresas automotrices han fijado ambiciosas metas para incrementar de forma significativa su producción de vehículos eléctricos; asimismo, cada vez más ciudades en el mundo fijan metas para limitar o incluso prohibir la circulación de vehículos con motores de combustión interna propulsados con derivados del petróleo. Ante la creciente demanda por vehículos eléctricos también se ha incrementado de forma acelerada el consumo de litio, el cual es uno de los principales minerales utilizados en la producción de baterías recargables. En este contexto, México puede aprovechar su potencial para explotar sus yacimientos de litio, así como para impulsar la producción y exportación de automóviles eléctricos.

Palabras clave: calentamiento global, combustibles fósiles, vehículos eléctricos, litio.

Abstract

Global warming is the main challenge facing humanity and has encouraged technological improvements and government guidelines aimed at reducing greenhouse gas (GHG) emissions associated with human activity. The burning of fossil fuels is the main source of anthropogenic GHGs. The third global energy revolution that could be consolidated between 2040-2050, which will consist of the replacement of fossil fuels by renewable energies as the main source of energy. Various automotive companies have set ambitious goals to significantly increase their production of electric vehicles. Likewise, more and more cities in the world are setting goals to limit or even prohibit the circulation of vehicles

with internal combustion engines powered by petroleum products. Given the growing demand for electric vehicles, lithium consumption has also increased rapidly, which is one of the main minerals used in the production of rechargeable batteries. In this context, Mexico can take advantage of its potential to exploit its lithium deposits, as well as to boost the production and export of electric cars.

Keywords: global warming, fossil fuels, electric vehicles, lithium

La necesidad de enfrentar el reto del calentamiento global como incentivo a la industria de los vehículos eléctricos

El cambio climático es generado por el calentamiento global de la superficie del planeta y la parte baja de la atmósfera, el cual es causado por el fenómeno del efecto invernadero. Este fenómeno se ocasiona debido a que ciertos gases en la atmósfera permiten que la mayor parte de la radiación solar incidente penetre hasta la superficie del planeta, mientras impide que la totalidad de la energía infrarroja emitida por nuestro planeta regrese al espacio exterior. Cuando mayor es la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI), menor es la cantidad de radiación infrarroja que la tierra emite libremente de vuelta al espacio (Ordoñez, 1999). Los gases de efecto invernadero se comportan ante la radiación solar como el vidrio de un invernadero que deja pasar el calor hacia el interior, pero no hacia su exterior, consecuencia de ello es que se produce un calentamiento de la tierra y de

la capa baja de la atmósfera. A pesar de que el efecto invernadero es considerado uno de los mayores riesgos existentes para el futuro del medio ambiente en todo el mundo, se trata de un fenómeno natural imprescindible para la vida, sin el cual la temperatura de la superficie

del planeta disminuiría de manera significativa. El problema surge cuando la acción del hombre agudiza su impacto intensificándolo y provocando un aumento anormal de la temperatura global del planeta.

Figura 1. El efecto invernadero



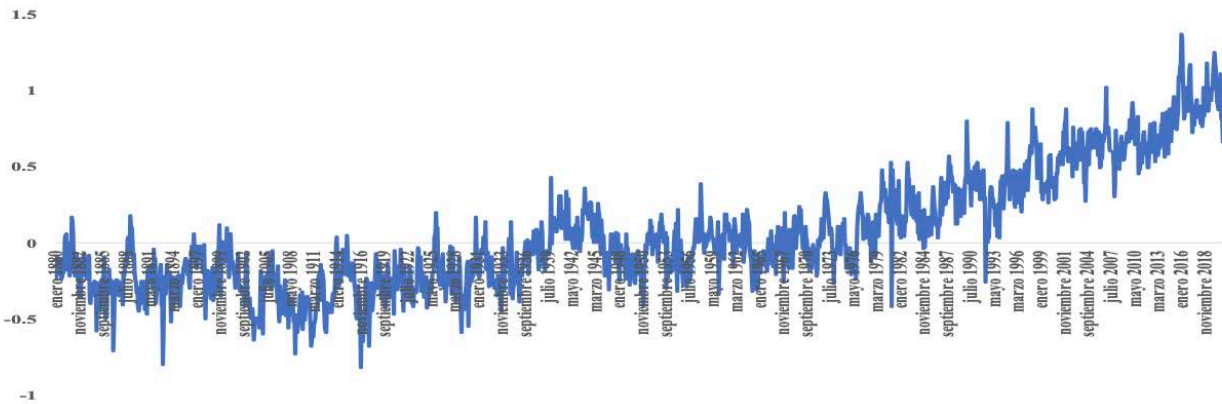
Fuente: Tudela (2004).

Si bien el calentamiento global puede tener diversas causas, la evidencia científica demuestra que la influencia humana es cada vez más evidente y puede diferenciarse de causas naturales. El calentamiento global es provocado por el incremento del efecto invernadero a raíz de una mayor emisión de GEI a la atmósfera, algunos de estos gases provienen tanto de fuentes naturales como de la actividad humana, mientras que otros son exclusivamente originados por el ser humano. Las actividades humanas son causa fundamental del calentamiento global que se

ha observado, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX.

La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) de los Estados Unidos monitorea de forma permanente la temperatura global, entre otros indicadores asociados con el calentamiento global y el cambio climático. De acuerdo con mediciones de la NASA, la temperatura global se ha incrementado hasta la actualidad en 1.17 °C en relación con la temperatura global que prevalecía en 1880. Hace algunas décadas se estimaba que un incremen-

Gráfica 1. Anomalía global de la temperatura (°C), enero 1880 – marzo 2021



Fuente: Elaboración propia con base en datos de 2 Degrees Institute.

to en la temperatura igual o mayor a los seis grados Celsius (°C) respecto a la temperatura que prevalecía en la etapa previa a la consolidación de la Revolución industrial, podría ser considerado como un “punto de no retorno” (Latif, 2017). Lo anterior, debido a que detonaría un “efecto dominó” que haría incontrollable el efecto invernadero y tendría como resultado un aumento cuasi exponencial del calentamiento global. Este efecto dominó de incremento en la temperatura sería consecuencia, principalmente, del descongelamiento de gas metano que se encuentra atrapado en el fondo de los océanos, o en el permafrost de las tundras (Corell, 2006; Latif, 2017).

Sin embargo, modelos climáticos más recientes consideran que ese “punto de no retorno” podría alcanzarse no con un incremento de 6 °C, sino con uno de 5 °C o incluso de 4 °C respecto a la temperatura global que imperaba en la etapa preindustrial (Sherman *et al.*, 2010; Betts *et al.*, 2011; Latif, 2017). El ajuste en este umbral de temperatura que no debe rebasarse se debió a que los científicos no habían considerado el creciente deterioro que se ha ocasio-

nado a los sumideros naturales de carbono por la actividad humana y por los propios efectos del calentamiento global. Los sumideros naturales de carbono se conforman por la vegetación terrestre (bosques, selvas, etc.) y las diversas formas de vida vegetal que habitan en los océanos. El cambio de uso de suelo provocado por la agricultura, la ganadería, la deforestación y la urbanización, así como el estrés provocado a diversas formas de vida en los océanos, se han traducido en una menor capacidad de los sumideros naturales de dióxido de carbono con los que cuenta el planeta para equilibrar la emisión de GEI (Bala *et al.*, 2007; Morton *et al.*, 2006).

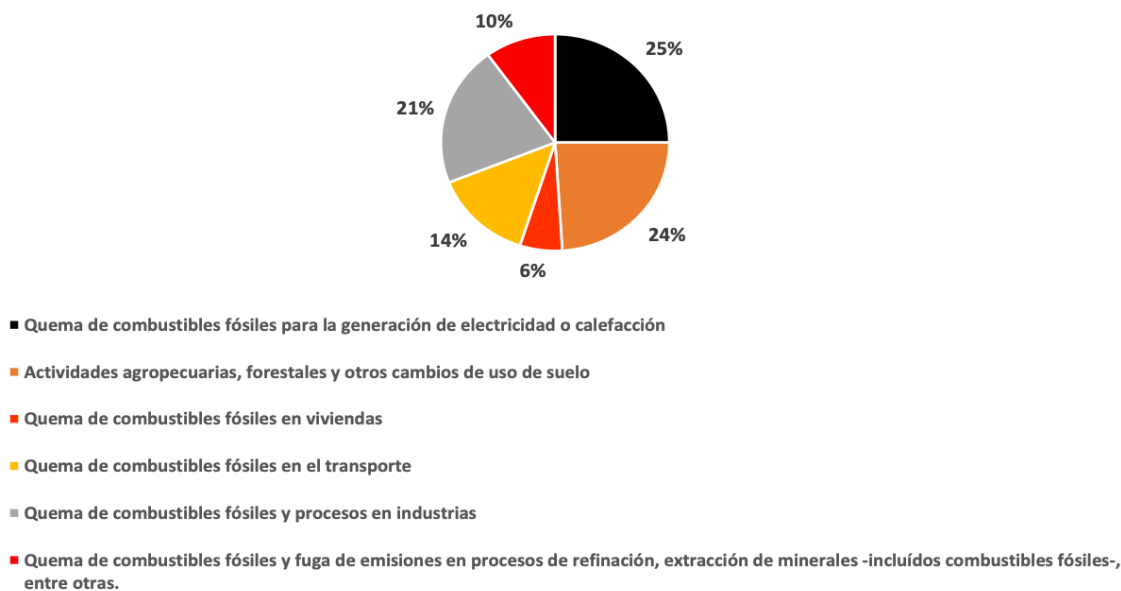
La quema de combustibles fósiles para producir energía en distintas actividades económicas es la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los seres humanos; contribuye con más del 70% de dichas emisiones. En este sentido, para enfrentar el reto del calentamiento global será necesario poner énfasis en la sustitución de los combustibles fósiles por fuentes alternativas de energía asociadas a una menor emisión de gases de efecto invernadero. Las tendencias globales y las apuestas

de distintos actores de la gobernanza (i.e. gobiernos, sector privado, sociedad civil) indican que las energías renovables serán la opción buscada para sustituir el consumo energético de los combustibles fósiles. La atmósfera es parte del capital natural y a su vez es un bien público global; la responsabilidad de tomar acciones para enfrentar el reto del calentamiento global en aras de buscar una mayor sostenibilidad ambiental corresponde a todas las naciones y sociedades a nivel mundial. Se deberán encontrar alternativas para proteger la sostenibilidad ambiental, ya que de ésta dependerá la posibilidad de mantener la sostenibilidad económica a nivel mundial. Anteponer criterios económicos a la sostenibilidad ambiental sería una mala apuesta a nivel intertemporal. El riesgo de no enfrentar de forma decidida y oportuna el reto del calentamiento global podría derivar en consecuencias catastróficas para la humanidad en su conjunto, y para la pre-

servación de otras especies. Diversos científicos y organizaciones internacionales consideran el calentamiento global como el principal reto que enfrenta la humanidad.

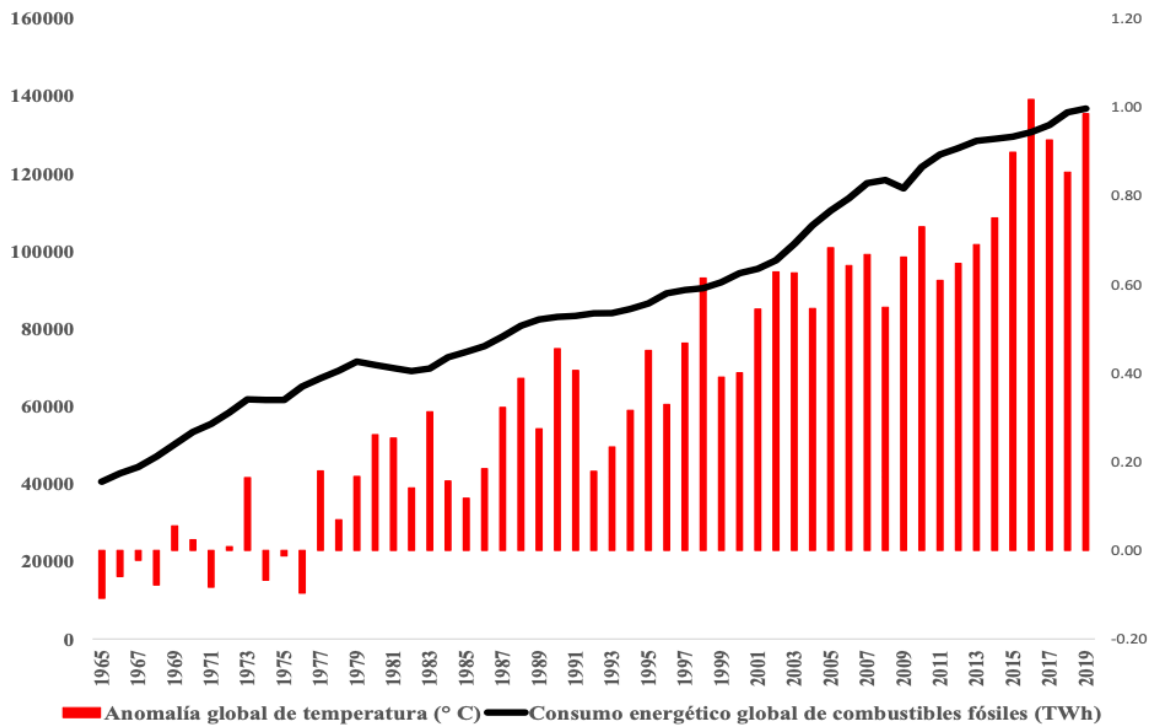
Con base en datos anuales para el periodo 1965-2019, se llevó a cabo una modelación econométrica para determinar si existe una relación causal entre el consumo energético global de combustibles fósiles y la anomalía global de temperatura. Los resultados obtenidos señalan que existe una relación positiva estadísticamente significativa entre el consumo energético global de combustibles fósiles y la anomalía global de temperatura; cuando el consumo global de combustibles fósiles se incrementa en 10 000 TWh, la anomalía global de temperatura se incrementa en 0.108 °C. Asimismo, a partir de pruebas de Granger se determinó que existe una relación causal estadísticamente significativa entre el consumo energético global de combustibles fó-

Gráfica 2. Contribución global de actividades económicas a la emisión humana de GEI, 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de EPA-USA.

Gráfica 3. Anomalía global de temperatura (° C) y consumo energético global de combustibles fósiles (TWh), 1965-2019



Fuente: Elaboración propia con base en datos de 2 Degrees Institute.

siles y la anomalía global de temperatura, siendo la primera una variable explicativa de la segunda.

Desde principios del siglo XX y lo que lleva avanzado el siglo XXI, los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) han sido la principal fuente de energía en el mundo; sin embargo, el costo ambiental que se ha pagado en términos de emisiones antropogénicas, es decir, derivadas de la actividad humana, de gases de efecto invernadero (GEI) ha sido elevado. La contribución de la actividad humana en la emisión de GEI ha sido determinante para explicar el calentamiento global, el cual es considerado como el principal reto que enfrenta la humanidad debido a sus potenciales consecuencias a nivel ambiental, económico, social, y en un caso extremo, ante el riesgo que podría representar para la supervivencia de un

alto porcentaje de las especies en el planeta, incluyendo la humana.

Diversas organizaciones internacionales, gobiernos nacionales, empresas y organizaciones de la sociedad civil, están tomando medidas para enfrentar el reto del calentamiento global. Hasta la fecha, dos países (Surinam y Bután) han alcanzado la meta de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad humana; seis países han convertido en ley dicha meta, cinco de ellos se han fijado alcanzarla en 2050, y uno (Suecia) en 2045; cinco países y la Unión Europea han propuesto incluir esta meta en su legislación, y pretenden alcanzarla en 2050; 20 países han incluido la meta en documentos de política, de los cuales Alemania pretende alcanzarla en 2045, Islandia y Austria en 2040, Finlandia en 2035, y los 16

restantes en 2050; finalmente, 98 países están discutiendo esta meta, y con excepción de China que pretendería alcanzarla en 2060, el resto contempla como fecha objetivo el año 2050, incluyendo a México.

En la industria del transporte también se están perfilando ambiciosas estrategias para dejar de producir vehículos que utilizan combustibles derivados del petróleo. Así, por ejemplo, como

señala Duffy (2021), la industria automotriz está virando hacia los autos eléctricos y lo está haciendo de forma rápida como respuesta tanto a la creciente importancia que los consumidores le están dando al calentamiento global y el cambio climático, como también a las prohibiciones legislativas sobre motores de combustión. Sobre este último tema, por ejemplo, el Reino Unido fijó que a partir de 2030 quedarían prohibidos los ve-

Cuadro 1. Meta de alcanzar cero emisiones netas de gases de efecto invernadero derivados de la actividad humana: Países y fecha objetivo

Países que han alcanzado la meta	Países que han hecho ley la meta	Países u organización supranacional que han propuesto la meta para ser incluida en su legislación	Países que han incluido la meta en documentos de política	Países que están discutiendo la meta		
Surinam	Suecia (2045)	Unión Europea (2050)	Finlandia (2035)	Uruguay (2030)	Croacia (2050)	Mali (2050)
Bután	Reino Unido (2050)	Canadá (2050)	Austria (2040)	Italia (2050)	Bulgaria (2050)	Jamaica (2050)
	Francia (2050)	Corea del Sur (2050)	Islandia (2040)	México (2050)	Tanzania (2050)	Mozambique (2050)
	Dinamarca (2050)	España (2050)	Alemania (2045)	Países Bajos (2050)	Libano (2050)	Malta (2050)
	Nueva Zelanda (2050)	Chile (2050)	EE.UU. (2050)	Bélgica (2050)	Lituania (2050)	Namibia (2050)
	Hungría (2050)	Fiji (2050)	Japón (2050)	Argentina (2050)	Rep. Dem. Congo (2050)	Mauricio (2050)
			Sudáfrica (2050)	Colombia (2050)	Sudán (2050)	Burkina Faso (2050)
			Brasil (2050)	Paquistán (2050)	Letonia (2050)	Madagascar (2050)
			Suiza (2050)	Bangladesh (2050)	Estonia (2050)	Nicaragua (2050)
			Noruega (2050)	Rep. Checa (2050)	Nepal (2050)	Armenia (2050)
			Irlanda (2050)	Rumania (2050)	Uganda (2050)	Bahamas (2050)
			Portugal (2050)	Perú (2050)	Yemen (2050)	Sudán del Sur (2050)
			Panamá (2050)	Grecia (2050)	Zambia (2050)	Chad (2050)
			Costa Rica (2050)	Ecuador (2050)	Chipre (2050)	Guinea (2050)
			Eslovenia (2050)	Eslovaquia (2050)	Camboya (2050)	Benín (2050)
			Andorra (2050)	Angola (2050)	Senegal (2050)	Haití (2050)
			Ciudad del Vaticano (2050)	Rep. Dominicana (2050)	Trinidad y Tobago (2050)	Rwanda (2050)
			Islas Marshall (2050)	Etiopía (2050)	Papúa Nueva Guinea (2050)	Níger (2050)
			China (2060)	Myanmar (2050)	Afganistán (2050)	Mónaco (2050)
			Kazajistán (2060)	Luxemburgo (2050)	Laos (2050)	Malawi (2050)
				Togo (2050)	Barbados (2050)	Guyana (2050)
				Maldivas (2050)	Somalia (2050)	Liberia (2050)
				Mauritania (2050)	Sierra Leona (2050)	Burundi (2050)
				Djibouti (2050)	Timor-Leste (2050)	República Centroafricana (2050)
				Lesotho (2050)	Eritrea (2050)	Cabo Verde (2050)
				Belice (2050)	Santa Lucía (2050)	Antigua y Barbuda (2050)
				Seychelles (2050)	Gambia (2050)	Guinea Bissau (2050)
				Islas Salomón (2050)	Vanatu (2050)	Islas Cook (2050)
				Comoros (2050)	Samoa (2050)	Tonga (2050)
				Grenada (2050)	San Vicente y Granadinas (2050)	Micronesia (2050)
				Saint Kitts and Nevis (2050)	Dominica (2050)	Sao Tomé y Príncipe (2050)
				Palau (2050)	Kiribati (2050)	Nauru (2050)
				Tuvalu (2050)	Niue (2050)	

Fuente: Elaboración propia con base en información de Energy & Climate Intelligence Unit.

Cuadro 2. Países, estados o provincias y ciudades que fijan fecha o planean fecha de prohibición de circulación y/o venta de vehículos que utilizan derivados del petróleo

Alemania	Se aprobó legislación para sólo aprobar vehículos que no usan derivados del petróleo a partir de 2030.
Amsterdam	No se permitirá la circulación de vehículos de combustión interna en el centro de la ciudad después de 2030.
Austria	Planea prohibir el registro de vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2027.
British Columbia	Aprobó legislación para prohibir la venta de vehículos nuevos que usan derivados del petróleo a partir de 2040.
Bruselas	Planea prohibir los vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2035.
California	Se prohibirá la venta de vehículos nuevos que usan derivados del petróleo a partir de 2035.
Colorado	Planea que todos los vehículos que circulen a partir de 2050 sean eléctricos.
Corea del Sur	Contempla prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2035.
Dinamarca	Planea prohibir la circulación de vehículos que usan exclusivamente derivados del petróleo a partir de 2030, y de autos híbridos a partir de 2035.
EE.UU.	Se ha introducido el acta federal sobre Vehículos de Cero Emisiones, la cual requiere que 50% de todos los vehículos vendidos en el país a partir de 2025 sean de cero emisiones. Se ha propuesto un plan para reemplazar todos los vehículos que usan derivados de petróleo por vehículos eléctricos en 2040.
Egipto	Planea tener sólo vehículos eléctricos a partir de 2040.
Eslovenia	Planea dejar de vender vehículos nuevos que usan derivados del petróleo en 2030.
España	Planea dejar de vender vehículos que usan derivados del petróleo en 2040.
Francia	Planea prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2040.
Hawái	Planea prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2030.
Hong Kong	Planea prohibir los vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2030.
India	Se ha impuesto la meta de contar con 100% de vehículos eléctricos en 2030, y considera la prohibición de vehículos de 2 y 3 ejes que usan combustibles derivados del petróleo en 2025.
Irlanda	Se ha propuesto legislación para sólo permitir la venta de vehículos que no usan derivados del petróleo en 2030.
Islandia	Planea prohibir el registro de vehículos nuevos que usan derivados del petróleo a partir de 2030; su capital, Reykjavik eliminará la mitad de sus estaciones de gasolina en 2025.
Israel	Planea prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2031.
Japón	Planea prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo a partir de 2035.
Los Angeles	Planea que 80% de sus vehículos sean cero emisiones en 2035, y 100% en 2050; también planea establecer la primera zona libre de vehículos que usan derivados del petróleo en 2030.
Massachussets	Planea prohibir la venta de vehículos nuevos que usen derivados del petróleo a partir de 2035.
New Hampshire	Se introdujo un acta en 2019 sobre convertir todos las flotillas de vehículos de gobierno al tipo cero emisiones en 2039.
New Jersey	Planea prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo en 2035; asimismo, se planea que 90% de todos los vehículos nuevos vendidos en 2040 sean eléctricos.
New York	Se planea que sólo se puedan vender vehículos de cero emisiones en 2035.
Noruega	Planea prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo en 2025; actualmente el 60% de los vehículos nuevos vendidos son eléctricos.
Países Bajos	Todos los vehículos deberán ser cero emisiones en 2030.
Portugal	Planea dejar de vender vehículos que usan derivados del petróleo en 2040.
Quebec	Planea dejar de vender vehículos nuevos que usan derivados del petróleo en 2035.
San Francisco	Planea que todos los vehículos sean cero emisiones en 2040.
Sri Lanka	Planea prohibir la circulación de vehículos que usan exclusivamente derivados del petróleo a partir de 2040.
Suecia	Planea prohibir la venta de vehículos que usan derivados del petróleo después de 2030.
Tailandia	Planea dejar de vender vehículos nuevos que usan derivados del petróleo en 2035.
Taiwán	Planea dejar de vender vehículos nuevos que usan derivados del petróleo en 2035.
Washington (estado)	Será obligatorio que todos los vehículos registrados a partir de 2030 sean eléctricos.

Fuente: Elaboración propia con base en información de Coltura.

hículos que utilicen exclusivamente combustibles derivados del petróleo (gasolina, diésel), y hasta 2035 podrán circular vehículos híbridos, es decir, que utilicen una combinación del uso de gasolina o diésel, además de electricidad, como fuente de energía. Son cada vez más los países, estados o provincias, y ciudades que fijan fechas para prohibir la circulación y/o venta de vehículos que utilizan derivados del petróleo como combustible.

Diversas compañías automotrices han fijado metas para convertir una parte o toda su producción a vehículos eléctricos, por ejemplo: *i)* General Motors planea vender sólo vehículos eléctricos a partir de 2035; *ii)* Toyota introducirá 15 modelos de vehículos eléctricos con fecha límite en 2025; *iii)* Ford planea que el 40% de su producción sea de vehículos eléctricos a partir de 2030; *iv)* Volkswagen planea producir 1 millón de autos eléctricos en 2023 y 1.5 millones en 2025, también planea que el 50% de sus ventas en Norteamérica sea de autos eléctricos en 2030; *v)* Honda planea vender sólo vehículos eléctricos a partir de 2040; *vi)* Nissan planea vender sólo vehículos eléctricos en sus principales mercados a partir de 2030; *vii)* Bentley sólo venderá autos eléctricos a partir de 2030; *viii)* Volvo sólo venderá autos eléctricos a partir de 2030; *ix)* Mini sólo venderá autos eléctricos a partir de 2030; *x)* Lotus sólo venderá autos eléctricos a partir de 2030; *xi)* Cadillac sólo venderá autos eléctricos a partir de 2030; *xii)* Jaguar planea vender sólo autos eléctricos a partir de 2025; *xiii)* Mercedes Benz comenzó a vender autos eléctricos en 2016 y cada vez introduce nuevos modelos eléctricos al mercado; *xiv)* Tesla se fundó en 2003 y desde que inició su producción, ésta ha sido exclusivamente de vehículos eléctricos (Duffy, 2021; Wayland, 2021; Shigura, 2021; Pollard, 2020; HT

Auto, 2021; Donomoske, 2021; Boudette, 2021; Beresford, 2021).

Proyecciones de la demanda mundial de litio

Uno de los principales usos actuales del litio es la producción de baterías recargables, sobre todo para vehículos eléctricos. La demanda de litio asociada a los vehículos eléctricos ha tenido una tendencia creciente y se proyecta que en el periodo 2016-2030 habrá reportado una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 29.7%. Mientras tanto, la TMCA proyectada para dicho periodo en la demanda de litio no asociada a vehículos eléctricos sería del 6%. La Comisión Chilena del Cobre estima que para 2030 la demanda total de litio a nivel mundial ascenderá a 1 793 kilotoneladas (kt ton) de carbonato de litio equivalente (CLE), es decir, 1 793 000 toneladas de CLE, de las cuales el 79% corresponderá a la demanda asociada a los vehículos eléctricos, y el 21% a la demanda para otros usos.

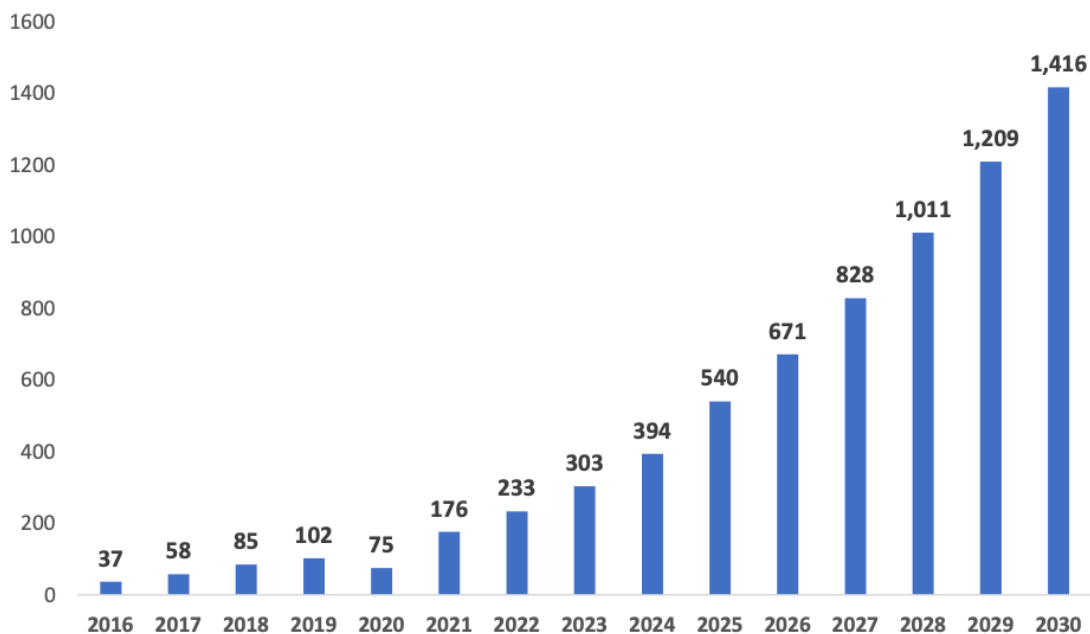
China, Japón y Corea del Sur son los principales consumidores mundiales de litio. Estos tres países asiáticos consumieron conjuntamente en 2019 el 65% de la demanda mundial total de litio, y el 93% de la demanda mundial de litio asociada a la producción de baterías. En 2019, el 59.8% del consumo mundial de litio estuvo asociado a la producción de baterías. González y Cantallops (2020) explican que el litio como producto se puede categorizar por su composición química en carbonato, hidróxido y otros compuestos que incluyen concentrados, butil-litio, bromuro y metal de litio. En 2019, el tipo de litio más consumido fue el carbonato (71%), seguido del hidróxido (24%).

Cuadro 3. Usos del litio

Baterías recargables	Usos tradicionales
Electromovilidad Vehículos livianos y pesados, <i>e-bikes</i> , scooters.	Vidrios y cerámicas El litio permite hacer que estos productos adquieran una serie de propiedades, tales como menor expansión térmica, menor temperatura de fuego y mayor fortaleza.
Artículos electrónicos Tablets, computadores y teléfonos, herramientas.	Grasas y lubricantes Permite usarlos a temperaturas y condiciones variables.
Almacenamiento energético Combinando baterías con sistemas de <i>machine learning</i> , se puede conservar electricidad para uso futuro.	Otros Tratamiento de aire, productos farmacéuticos, plásticos y polímeros, entre otros.

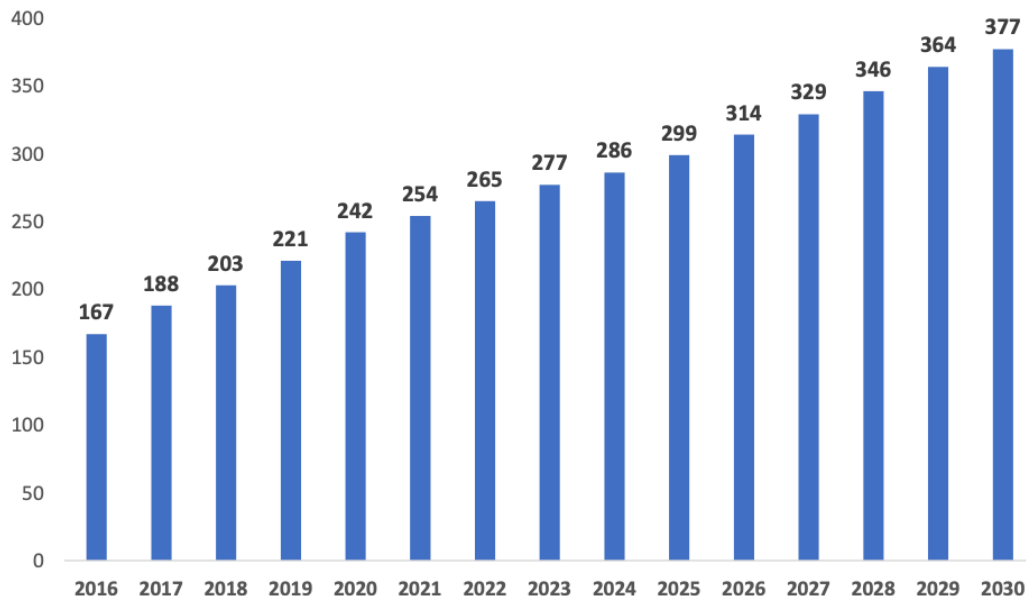
Fuente: Elaboración propia con base en información de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallopis (2020).

Gráfica 4. Demanda mundial de litio para vehículos eléctricos (toneladas de CLE)



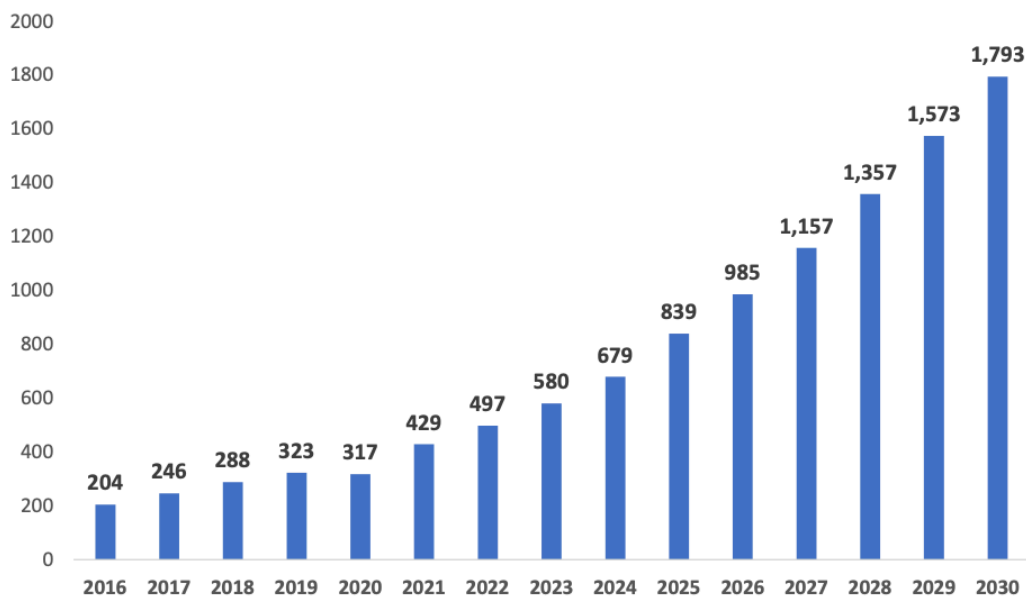
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallopis (2020). Nota: CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

Gráfica 5. Demanda mundial de litio no asociada a vehículos eléctricos (toneladas de CLE)



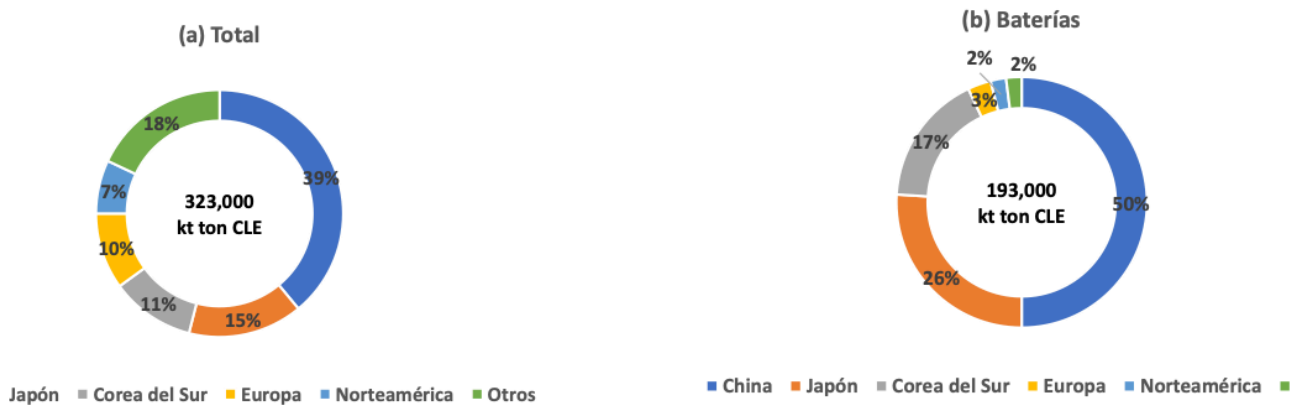
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallopis (2020). Nota: CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

Gráfica 6. Demanda mundial agregada de litio (toneladas de CLE)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallopis (2020). Nota: CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

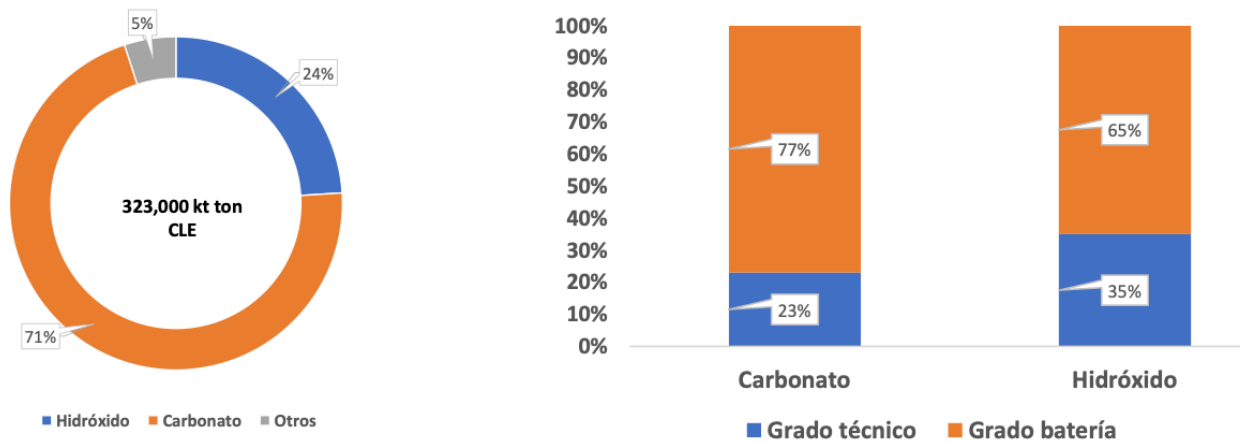
Gráfica 7. Consumo de litio (a) total y (b) para baterías, 2019



Fuente: Elaboración propia con base en información de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallopis (2020).
 Nota:CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

110

Gráfica 8. Demanda de litio por (a) tipo y (b) grado de carbonato e hidróxido, 2019



Fuente: Elaboración propia con base en información de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallopis (2020).
 Nota:CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

El litio, ya sea como carbonato o hidróxido, se puede categorizar en grado técnico o grado batería según el grado de pureza de su composición; en el caso del tipo carbonato, el grado técnico suele requerir un 99% de pureza del litio, mientras que el grado batería requiere al menos un 99.5% de pureza del mineral (González y Cantallops, 2020). Tanto en el tipo carbonato como en el hidróxido se suele privilegiar el grado batería en la producción de litio (*Ibid*). En cuanto al tipo de baterías de ion-litio en el transporte, la más utilizada es la de níquel-litio, cobalto y óxido de aluminio (NCA); la Comisión Chilena del Cobre estima que este tipo de batería concentrará el 84% de la demanda de

baterías de litio para el transporte asociado a la electromovilidad en 2030.

Los principales países productores de litio son Australia, Chile, China y Argentina; su producción conjunta en 2022 ascendió a 125 200 toneladas de litio. A partir de datos del Servicio Geológico de los EE.UU., Álvarez (2023) señala que la producción conjunta de estos cuatro países en 2021 fue de 103 570 toneladas de litio, la cual representó el 96% de la producción mundial de litio en dicho año. Similarmente, los países con las mayores reservas de litio son Chile, Australia, Argentina y China.

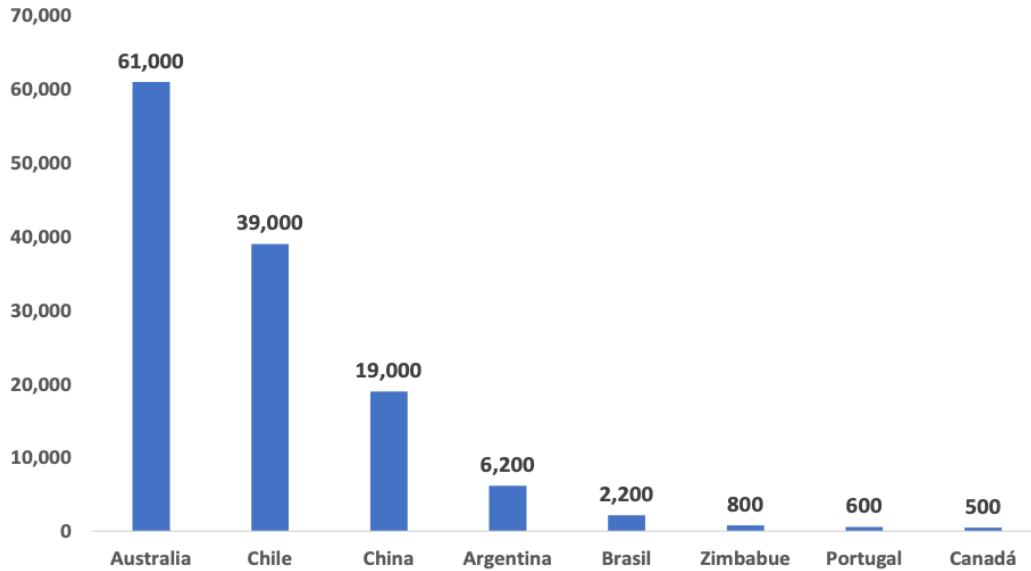
Sin embargo, como explica Álvarez (2023), las reservas de litio sólo representan una parte

Cuadro 4. Tasa de adopción de baterías de ion-litio en transporte

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Litio y óxido de cobalto (LCO)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Níquel-litio, Cobalto y óxido de Aluminio (NCA)	17%	17%	13%	17%	21%	14%	10%	9%	9%	9%	9%	9%	7%	5%	4%	3%
Níquel-litio, Cobalto y Manganeso (NCM)	13%	22%	38%	50%	51%	57%	63%	65%	69%	70%	73%	74%	77%	80%	83%	84%
Litio, Óxido de Manganeso (LMO)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Litio, Manganeso, Óxido de Níquel (LMNO)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Litio Fosfato y Hierro (LFP)	70%	61%	48%	33%	29%	29%	26%	23%	19%	18%	16%	15%	14%	13%	12%	11%

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallops (2020).

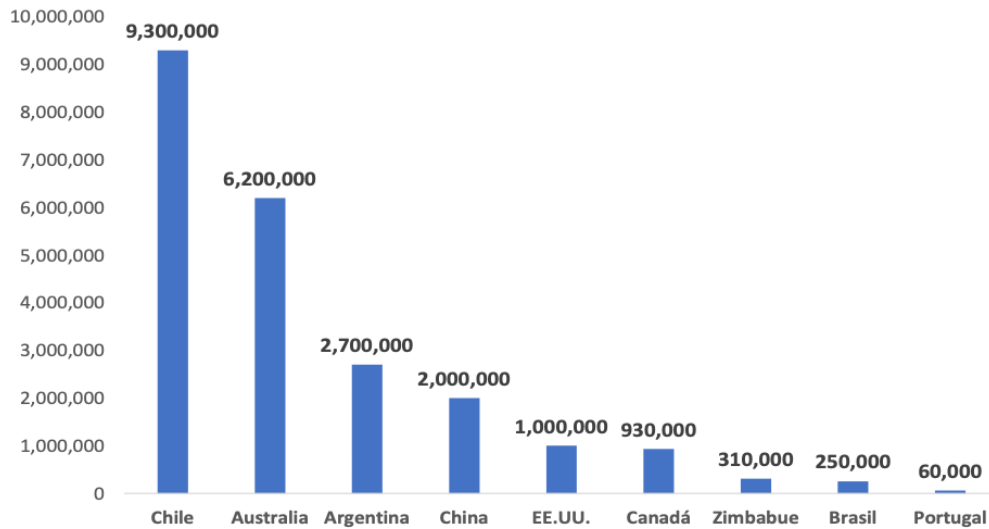
Gráfica 9. Principales países productores de litio (toneladas de CLE), 2022



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Statista. Nota: CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

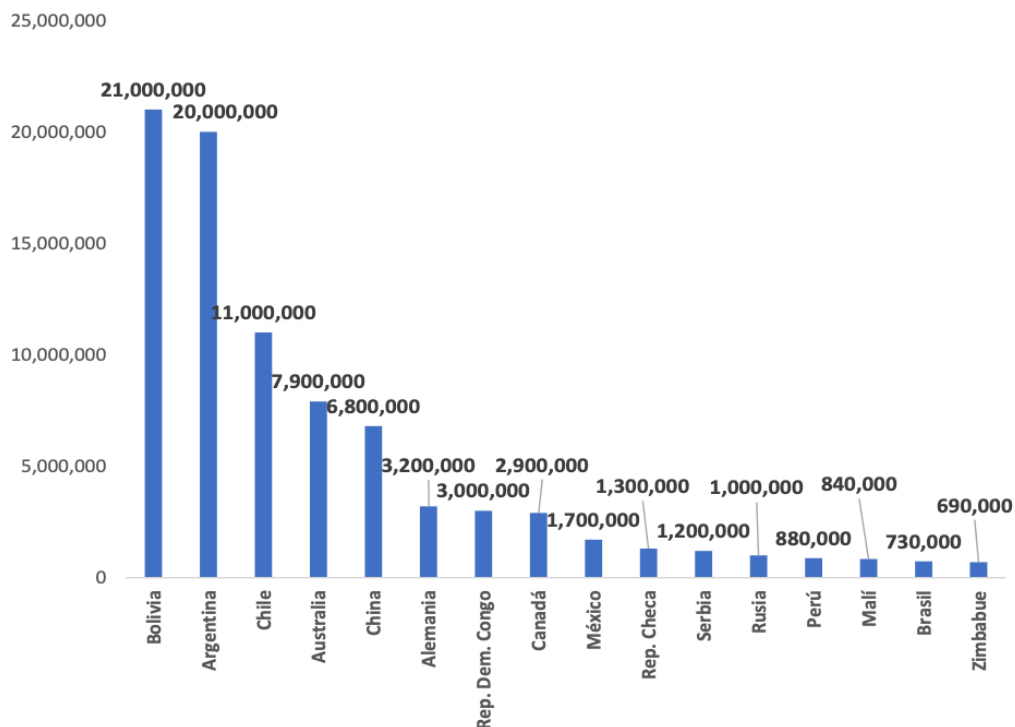
112

Gráfica 10. Países con las mayores reservas de litio a nivel mundial (toneladas de CLE), 2021



Fuente: Elaboración propia con base en CEPAL (2023) a partir de datos del Servicio Geológico de los EE.UU. Nota: CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

Gráfica 11. Países con los mayores recursos de litio a nivel mundial (toneladas de LCE), 2021



Fuente: Elaboración propia con base en CEPAL (2023) a partir de datos del Servicio Geológico de los EE.UU. Nota:CLE = Carbonato de Litio Equivalente.

de los recursos de litio de un país; la diferencia entre reservas y recursos radica en que las primeras ya han sido evaluadas y tienen una viabilidad económica para su producción y venta. En este sentido, los recursos de litio de un país no sólo incluyen las reservas del mineral, sino también la dotación de litio que aún no ha sido evaluada en cuanto a su viabilidad económica para su producción y venta. Los países con los mayores recursos de litio son Bolivia, Argentina, Chile y Australia.

México se ubica en la novena posición mundial en cuanto a recursos de litio, con un monto estimado de dicho mineral que asciende a 1 700

000 toneladas. Como señala Álvarez (2023), en México está en desarrollo el proyecto de explotación de litio a partir de arcillas enriquecidas que lleva a cabo la empresa china Ganfeng Lithium en el estado de Sonora; el cual se estima que podrá producir 35 000 toneladas anuales de litio con grado de batería a partir de mediados de la presente década. Asimismo, el gobierno de México impulsó la creación de la empresa estatal LitoMx para llevar a cabo la exploración, explotación, beneficio y aprovechamiento del litio ubicado en el país, así como la administración y control de las cadenas de valor de dicho mineral (Álvarez, 2023).

Cuadro 5. Principales fuentes de litio a nivel mundial

Tipo	Tipos de depósitos	Participación a nivel mundial	Estado natural	Ubicación de mayores depósitos
Pegmatitas	Espodumeno, petalitas, lepidolitas, amblogonita y eucryptita	26%	Roca dura (a partir de magma cristalizados bajo la superficie terrestre)	Australia, EE.UU., República Democrática del Congo, Canadá
Salmueras	Continental (salares), geotermales y petroleros	66%	Salmueras (arenas, agua y sales minerales)	Triángulo del litio (Chile, Argentina, Bolivia)
Rocas sedimentarias	Arcillas, toba volcánica, rocas evaporitas lacustres	8%	Rocas minerales de esmectita (arcilla) jadarita (evaporita lacustre)	EE.UU., México, Serbia, Perú

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallop (2020).

114

La principal fuente de litio a nivel mundial son las del tipo salmueras que en estado natural se encuentran en arenas, agua y sales minerales. Este tipo de fuente litio es abundante en los países que conforman el llamado Triángulo del litio (Chile, Argentina y Bolivia) y representan el 66% de los recursos de litio a nivel mundial. En México prevalece el litio en rocas sedimentarias; este tipo de fuente de litio representa el 8% de los recursos de dicho mineral a nivel mundial.

La Comisión Chilena del Cobre y González y Cantallop (2020) consideran que existen distintos tipos de riesgos que pueden afectar el consumo mundial de litio; a mediano plazo se incluyen medidas fiscales como subsidios e impuestos que puedan desincentivar la producción de vehículos eléctricos, mientras que a largo plazo destaca la posible sustitución del litio

por baterías de ion-potasio u otras fuentes de energía como el hidrógeno.

Comentarios finales

El reto de enfrentar el calentamiento global ha incentivado la aceleración de innovaciones tecnológicas orientadas a reducir el consumo energético de los combustibles fósiles. Este cambio tecnológico contribuirá a alcanzar la consolidación de la tercera revolución energética mundial, en la cual los combustibles fósiles serán sustituidos por las energías renovables como la principal fuente de energía a nivel mundial. El Foro Económico Mundial (2017) considera que el fin de la era del petróleo es sólo cuestión de tiempo. La consolidación de la revolución energética mundial podría ocurrir

Cuadro 6. Potenciales riesgos para el consumo mundial de litio

Temporalidad	Riesgo
Corto plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Crisis económicas mundiales.
Mediano plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Variaciones en los subsidios para autos eléctricos. • Menores impuestos para autos de combustión interna. • Mejoras tecnológicas que supongan costos mayores en autos eléctricos.
Largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Menor precio del petróleo (aminora costos de producción, pero a largo plazo puede abaratar los costos de uso de autos de combustión interna). • Sustitutos: Baterías de ion-potasio, hidrógeno, entre otros.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Chilena del Cobre; González y Cantallopis (2020).

en algún momento del periodo 2040-2050. La creciente demanda mundial de litio es parte de este cambio tecnológico orientado a contribuir en la mitigación del calentamiento global. Se proyecta una creciente demanda por los vehículos eléctricos que utilizan baterías recargables en las que el litio es uno de sus principales insumos. México puede aprovechar este cambio tecnológico mundial, ya que cuenta con importantes recursos de litio en su territorio; asimismo, el país se ha consolidado como uno de los principales productores y exportadores de automóviles a nivel mundial, y existen perspectivas favorables de que su producción y exportación de autos eléctricos se incrementará significativamente en los siguientes años.

Referencias

- Álvarez, J. (2023). Cuatro países producen más del 96% del litio del mundo: dos son latinoamericanos. *Bloomberg Línea*. <https://www.bloomberglinea.com/2023/07/13/cuatro-paises-producen-mas-del-96-del-litio-del-mundo-dos-son-latinoamericanos/>
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T., Lobell, D., Delire, C., Mirin, A. (2007). Combined Climate and Carbon-Cycle Effects of Large-Scale Deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(16), National Academy of Sciences.
- Beresford, C. (2021). VW Expands EV Offensive with Plans for Six Battery Factories. *Car and Driver*. <https://www.caranddriver.com/news/a35840783/vw-plans-for-six-battery-factories/>
- Betts, R., Collins, M., Hemming, D., Jones, C., Lowe, J., Sanderson, G. (2011). When could global warming reach 4°C? *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934), Royal Society.

- Boudette, N. (2021). Ford will spend \$30 billion on electric vehicles, a big increase from earlier plans. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2021/05/26/business/ford-electric-vehicles.html>
- CEPAL (2023). *Extracción e industrialización del litio: Oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Corell, R. (2006). Challenges of Climate Change: An Arctic Perspective. *Ambio*, 35(4). Springer on behalf of Royal Swedish Academy of Sciences.
- Donomoske, C. (2021). Honda Aims To Go All-Electric By 2040. *NPR*. <https://www.npr.org/2021/04/23/990153361/honda-aims-to-go-all-electric-by-2040>
- Duffy, T. (2021). 6 Car Brands Planning to Go Electric by 2030. *Gear Patrol*. <https://www.gearpatrol.com/cars/g36321012/car-brands-going-electric/>
- González, S., Cantalopts, J. (2020). *Oferta y demanda de litio hacia el 2030*. Comisión Chilena del Cobre.
- HT Auto (2021). *Nissan plans to expand its electric-vehicle portfolio in the US*. *HT Auto*. <https://auto.hindustantimes.com/auto/news/nissan-plans-to-expand-its-electric-vehicle-portfolio-in-the-us-41614919006741.html>
- Latif, M. (2017). Climate Change: the point of no return. En Wiegandt, K. *A Sustainable Future: 12 Key Areas of Global Concern*. Haus Publishing.
- Morton, D., DeFries, R., Shimabukuro, Y., Anderson, L., Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., Freitas, R., Morissette, J. (2006). Cropland Expansion Changes Deforestation Dynamics in the Southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(39). National Academy of Sciences.
- Ordoñez, J. (1999). *Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán*, SEMARNAT.
- Pollard, T. (2020). *Mercedes-Benz electric cars: everything from EQA to EQS explained*. <https://www.car-magazine.co.uk/electric/mercedes-benz/>
- Sherman, D., Li, B., Quiring, S., Farrell, E. (2010). Benchmarking the War Against Global Warming. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4). Taylor & Francis, Ltd. on behalf of the Association of American Geographers.
- Shigura, E. (2021). Toyota steps up electric vehicle push with plans for 15 new models. *Nikkei Asia*. <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Toyota-steps-up-electric-vehicle-push-with-plans-for-15-new-models>
- Tudela, M. (2004). *México y la Participación de países en desarrollo en el régimen climático*, en: *Cambio Climático: Una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Wayland, M. (2021). General Motors plans to exclusively offer electric vehicles by 2035. *CNBC*. <https://www.cnbc.com/2021/01/28/general-motors-plans-to-exclusively-offer-electric-vehicles-by-2035.html>

Sitios web consultados

- 2 Degrees Institute: <https://www.2degreesinstitute.org/>
- Coltura: <https://www.coltura.org/world-gasoline-phase-outs>
- Comisión Chilena del Cobre: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Inicio.aspx>
- Energy & Climate Intelligence Unit Net Zero Emissions Race: <https://eciu.net/netzerotracker>
- NASA Global Climate Change: <https://climate.nasa.gov/>
- Statista: <https://es.statista.com/estadisticas/600308/paises-lideres-en-la-produccion-de-litio-a-nivel-mundial/>
- United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>



REVISTA DEL INSTITUTO BELISARIO DOMÍNGUEZ DEL SENADO DE LA REPÚBLICA
NUEVA ÉPOCA · AÑO 12 · NÚMERO 57 · JULIO - SEPTIEMBRE 2023

