



Universidad de Concepción

LITIO

¿RECURSO ESTRATÉGICO?

PARA SABER Y CONTAR

Pedro G. Toledo / Omar Blas Alvarado / Roberto E. Rozas
Gonzalo R. Quezada / Leopoldo Gutiérrez

Serie Comunicacional CRHIAM

Escasez Hídrica
Huella del Agua Sequía
Servicios Ecosistémicos
Calidad del agua
Agricultura Tecnología
Cambio Climático
Ecosistemas Gestión Sustentable

Agua Minería
Recursos Hídricos
Innovación Investigación
Reutilización de aguas
Aguas Subterráneas

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Litio ¿Recurso estratégico? Para saber y contar.
Pedro G. Toledo, Omar Blas Alvarado, Roberto E. Rozas,
Gonzalo Quezada y Leopoldo Gutiérrez.
Agosto 2022.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos
para la Agricultura y la Minería
(CRHIAM)
ANID/FONDAP/15130015

Victoria 1295, Barrio Universitario,
Concepción, Chile
Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl



Universidad de Concepción

LITIO

¿RECURSO ESTRATÉGICO?

PARA SABER Y CONTAR

Pedro G. Toledo / Omar Blas Alvarado / Roberto E. Rozas
Gonzalo R. Quezada / Leopoldo Gutiérrez

LITIO ¿RECURSO ESTRATÉGICO? PARA SABER Y CONTAR

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU- Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimiento y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Pedro G. Toledo

Ingeniero Civil Químico.
Doctor en Ingeniería Química, Universidad de Minnesota.
Profesor Titular, Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.
Subdirector e Investigador Principal, Centro CRHIAM,
FONDAP Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería.



Omar Blas Alvarado

Químico.
Doctor en Ciencias con mención en Química.
Universidad de Concepción.
Colaborador académico Departamento de Química,
Universidad del Bío-Bío.
Investigador Post-Doctoral CRHIAM.



Roberto E. Rozas

Ingeniero Civil Químico.
Doctor en Ciencias Naturales (Dr. rer. nat.),
Facultad de Matemáticas y Ciencias,
Universität zu Köln, Alemania.
Profesor Asociado del Departamento de Física,
Universidad del Bío-Bío.
Investigador Adjunto CRHIAM.



Gonzalo R. Quezada

Ingeniero Civil Químico, Universidad de Concepción.
Doctor en Ciencias de la Ingeniería, con mención en Ingeniería
Química, Universidad de Concepción.
Investigador postdoctoral ANID y CRHIAM.



Leopoldo Gutiérrez

Ingeniero Civil Metalúrgico.
Doctor of Philosophy in Mineral Processing,
University of British Columbia, Canadá.
Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería Metalúrgica,
Universidad de Concepción.
Investigador Principal CRHIAM.

RESUMEN

En la última década, el litio ha concentrado la atención mundial por su estrecha vinculación con la transformación energética y las políticas de cambio climático del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Este elemento, junto con el cobalto, es la base de las baterías de iones de litio, y su demanda en los últimos años ha aumentado a un ritmo estable de aproximadamente 20% anual. Sin embargo, la presión por acceder a la electromovilidad, parte central de la transición ecológica, está empujando esta demanda fuertemente al alza.

Desde la perspectiva de los países occidentales altamente industrializados, el carácter estratégico del metal está muy claro y formalmente declarado. La preocupación por el litio en occidente, ciertamente incluye los aspectos ecológicos y geológicos, pero mucho más la alta concentración en un puñado de países, la mayoría no industrializados, de las reservas, la producción y el mercado del litio, y sobre todo la poderosa posición de control de China de la cadena de valor del metal. Pero ¿qué tan estratégico es para Chile? En este momento, el litio es tan estratégico como las cerezas o como el vino, porque el impacto de su venta es solo renta al Estado que, por supuesto, es muy bien recibida porque sirve para financiar los programas de desarrollo económico y social del país, aunque claramente puede ser mucho más.

Para que el litio sea verdaderamente estratégico para el país se debe implementar un plan de gobernanza del metal más efectivo, que nos incorpore a su cadena de valor, enlazando la actividad primaria-exportadora, que ha sido exitosa hasta ahora. Chile es el segundo productor a escala mundial, con la innovación y el conocimiento, abordando apropiada e integralmente los conflictos socio-ambientales que rodean la actividad.

INTRODUCCIÓN

Minerales críticos como el litio son componentes esenciales de tecnologías modernas, seguridad y prosperidad económica. El litio, como los elementos de tierras raras y cobalto, es clave en baterías recargables esenciales para la vida, doméstica e industrial. Los computadores, celulares, herramientas, equipos de cuidado personal, y aparatos domésticos son todos comunes e imprescindibles para la vida diaria. Los vehículos eléctricos avanzan rápidamente en el mercado del transporte y el almacenamiento de energía, estacionario y portátil.

En la última década, el litio ha concentrado la atención mundial por su vínculo con la transformación energética y las políticas de cambio climático del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. A medida que el mundo transite a una economía de energía limpia, la demanda mundial de minerales críticos se disparará entre un 400 y un 600 por ciento durante las próximas décadas y, para minerales como el litio y el grafito utilizados en las baterías de vehículos eléctricos, la demanda aumentará aún más, tanto como 4000 por ciento (USA White House Briefing Room, 2022).

Los Estados Unidos y Europa dependen cada vez más de fuentes extranjeras para muchas de las versiones procesadas de estos minerales estratégicos, como hidróxidos, carbonatos, sulfatos, y cloruros en el caso del litio. Dichas fuentes se concentran en tres países de América del Sur, Chile, Argentina y Bolivia, en el llamado Triángulo del Litio, que atraviesan procesos políticos cuyas decisiones determinarán la disponibilidad del mineral y que luchan por atender informes críticos sobre la extracción de litio desde los salares. A esto se suma que China controla la mayor parte del mercado de procesamiento y refinación de litio, además de cobalto, tierras raras y otros minerales críticos. Por eso los países industrializados de occidente han iniciado planes para la explotación del mineral en lugares impensados, en la base del Rin en Alemania y en la falla de San Andrés en EE.UU.; en este último país y ante la poca certeza de la disponibilidad del litio en el mercado, Tesla compró una mina de arcillas de litio en Nevada aún sin saber la forma de procesarlas, incluso EE.UU. tiene dimensionada la cantidad de litio en el océano y comienza a esbozar tecnologías para eventualmente explotarlo.

Pero, ¿cuán estratégico es el litio para Chile? Es lo que intentamos responder en esta Serie. En 1979, con la publicación del Decreto Ley No. 2.886, el litio (al igual que el uranio y el torio) quedó reservado para el Estado por razones de

interés nacional, se excluyó del régimen concesional minero y se determinó la tutela de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) para cualquier acto o contrato relacionado con el mineral. En esta etapa se incrementa el control del Estado sobre los materiales de interés nuclear dando origen a un marco jurídico vigente hasta el día de hoy.

Ese marco legal rígido considera al litio como un recurso estratégico y reservado para el Estado. Pero esta consideración no es respecto a la electromovilidad, sino al añejo ámbito nuclear. La realidad hoy es que el litio para Chile es tan estratégico como las cerezas, los salmones y el vino, porque el impacto de su venta es solo renta al Estado, muy importante, pero solo eso. Como país, Chile es actor principal en el primer eslabón de la cadena de valor del litio, pero no juega rol alguno en los eslabones de mayor valor que producen las codiciadas baterías. Para que el litio sea verdaderamente estratégico para Chile se debe implementar un plan de gobernanza del metal más efectivo, que lo incorpore a la cadena de valor, enlazando la actividad primaria-exportadora, que ha sido exitosa hasta ahora.

Chile es el segundo productor a escala mundial, con la innovación y el conocimiento, abordando apropiada e integralmente los conflictos socio-ambientales que rodean la actividad. Los tiempos no pueden ser más propicios, Estados Unidos y Europa necesitan asegurar la provisión de litio para sus proyectos de energía limpia, Chile lo tiene en abundancia, pero aspira a ser actor en toda la cadena de valor. Qué mejor oportunidad para que la economía, la política y la diplomacia del país construya una inédita sociedad con los países que lideran el reemplazo del petróleo por energías limpias.

CONTEXTO DE LA INDUSTRIA Y ECONOMÍA DEL LITIO

Algo de historia y usos del litio

El primer mineral de litio, petalita de fórmula química $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$, fue descubierto en la isla sueca de Utö por el brasileño Jozé Bonifácio de Andrada e Silva en la década de 1790. Arrojado al fuego daba una característica llama carmesí intensa. En 1817, Johan August Arfvedson, de Estocolmo, analizó el mineral y dedujo que contenía un metal desconocido que llamó litio. Se trataba de un nuevo metal alcalino y una versión más ligera de sodio.

Sin embargo, a diferencia del sodio, no pudo separarlo por electrólisis. En 1821, William Brande obtuvo una pequeña cantidad, pero no suficiente para realizar mediciones. No fue hasta 1855 que los químicos Robert Bunsen y Augustus Matthiessen lo obtuvieron a granel mediante electrólisis de cloruro de litio fundido, técnica utilizada hasta hoy.

Ahora sabemos que el litio también se encuentra en depósitos de salmuera y como sales en manantiales minerales, en el agua de mar en concentración de 0,1 partes por millón, en los minerales de pegmatita, como espodumeno ($\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$) y lepidolita (de estructura variable), y en los minerales de amblygonita (LiAlFPO_4), con contenidos de Li_2O que varían entre 4 y 8,5%. El litio constituye alrededor del 0,002% de la corteza terrestre.

Este mineral tiene muchos usos, el más importante en la actualidad es en baterías de dispositivos celulares, computadores portátiles, y en vehículos eléctricos. El litio es un elemento que ha sido tradicionalmente utilizado para la producción de grasas, lubricantes, caucho sintético, vidrios, cerámicas, pirocerámicas, aleaciones, aluminio, refinados de metales libres de impurezas, componentes para aire acondicionado y deshumidificadores, productos farmacéuticos y medicinales, sofisticados textiles, desinfectantes para piscinas y baños, blanqueadores en lavanderías al seco, y baterías, principalmente. Sin embargo, la proporción en cuanto a su utilización como materia prima en estas industrias ha cambiado significativamente en las últimas dos décadas.

El impacto estratégico del litio es notable en la biología, la medicina, la fabricación de aviones más livianos y espaciosos, la carrera espacial, una silente pero activa investigación en fusión nuclear para energía verde, y especialmente la electromovilidad para disminuir el uso de combustibles fósiles.

La Figura 1 muestra los usos del litio por porción de mercado. El mercado de celulares, computadores, y herramientas que está bastante saturado. Y dos mercados que crecen fuertemente, el de los vehículos eléctricos y el de la energía. Este último entretiene la idea de encapsular sol. La Figura 2 muestra los principales usos del litio a nivel mundial. Las baterías pasaron de una participación del consumo total de litio producido en el mundo del 7% en 1998, al 27% en 2008 (Figura 2a), al 56% en el 2018 (Figura 2b), y al 74% en 2021 (Figura 2c) (USGS, 1999, 2009, 2019, 2022). La Figura 3 muestra una proyección a 2022 de los principales usos del litio a nivel mundial.

Características del litio

El litio es el primer metal y el más ligero de la tabla periódica. Es blando, de color blanco plateado y pertenece al grupo de elementos químicos de los metales alcalinos. Posee propiedades altamente valoradas como su elevada conductividad eléctrica, baja viscosidad, y bajo coeficiente de expansión térmica. El litio presenta una elevada densidad de energía lo que permite almacenar mayor carga eléctrica por kilogramo. Como es muy reactivo, no se encuentra naturalmente en su forma metálica pura, sino mezclado en minerales y sales, desde donde es extraído para ser convertido en compuestos y derivados.

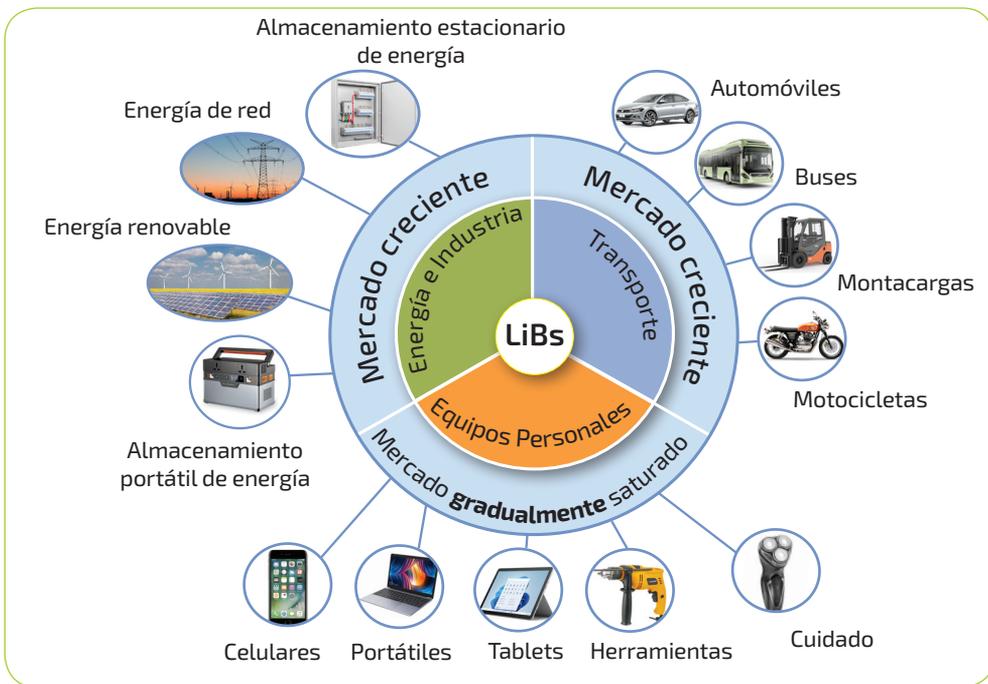


Figura 1.

Usos del litio por porción de mercado (LiBs significa Batería de Litio).
Fuente: Adaptado de Ding *et al.*, (2019)

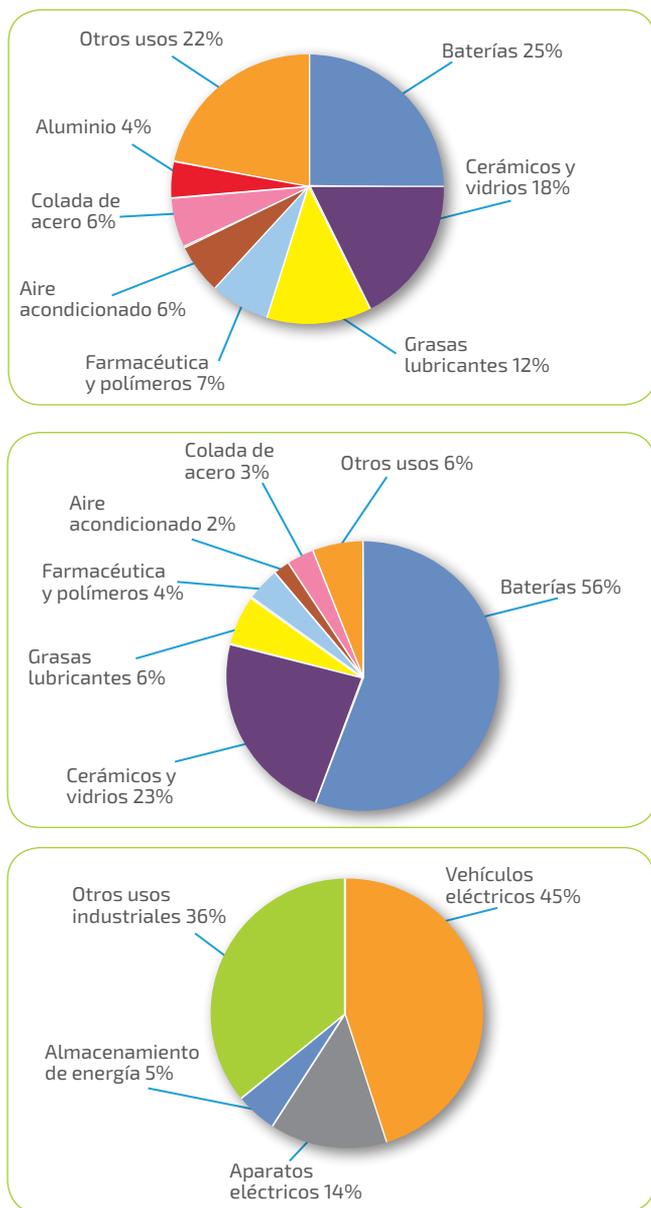


Figura 2.

Usos del litio a nivel mundial, 2008, 2018 y proyectados 2022 (en porcentajes).
Fuente: Elaboración propia con datos de USGS, (2009, 2019) y Wood Mackenzie, (2018).

Fuentes naturales de litio y procesos de producción

El litio es abundante en la tierra, se encuentra presente en una gran variedad de minerales, en arcillas, en salmueras continentales, en salmueras asociadas a pozos de petróleo y a campos geotermales, e incluso en el agua de mar. Pero solo en unos pocos depósitos el litio alcanza niveles de concentración adecuados para su explotación comercial mediante los métodos conocidos hasta ahora. Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), las fuentes más importantes son los salares en cuencas cerradas (58%), rocas pegmatitas y granitos (26%), arcillas enriquecidas en litio (7%), salmueras de yacimientos petrolíferos (3%), salmueras geotermales (3%) y zeolitas enriquecidas en litio (3%). Así son los salares y rocas minerales, principalmente espodumeno, las fuentes más explotadas en la actualidad (ver Tabla 1).

Tabla 1.

Clasificación de los recursos de litio. Fuente: Elaboración propia con datos de Cochilco, (2020).

Tipo	Depósito	% Mundial	Estado natural	Localización
Pegmatitas	Espodumeno, petalitas, lepidolitas, amblogonita, eucryptita	26	Roca dura (de magma cristalizado bajo la superficie terrestre)	Australia, EE.UU., RDC, Canadá, Brasil
Salmueras	Continental (salar), geotermales y petroleras	66	Salmueras (arenas, agua y sales minerales)	Triángulo del litio integrado Chile, Argentina y Bolivia
Rocas sedimentarias	Arcillas, toba volcánica, rocas evaporitas lacustres	8	Rocas minerales de esmectita (arcilla), jadarita (evaporita lacustre)	EE.UU., México, Serbia (Jadar), Perú (Falchani)

Las salmueras continentales son acumulaciones de agua salina subterránea enriquecida con litio disuelto. Se encuentran principalmente en Sudamérica y en regiones de EE.UU., Canadá y China. La producción de litio consta de varias etapas, primero la salmuera se bombea a la superficie, luego se deposita en grandes piscinas expuestas al sol para evaporar el agua, de esta

manera precipitan las sales menos solubles, al final del proceso la salmuera sobrenadante contiene el litio concentrado en solución con un contenido de litio de 3 a 5%.

Este concentrado de litio se procesa para obtener compuestos refinados de litio. En Chile, Argentina y Bolivia, los principales salares son respectivamente Atacama, Hombre Muerto y Uyuni. El mineral de roca enriquecido con litio más común y de mayor explotación es el espodumeno. La mena es sometida a molienda para luego obtener el concentrado de espodumeno mediante un proceso de flotación. Este concentrado se utiliza como materia prima en una siguiente fase de conversión para la obtención de compuesto refinado de litio. Los principales depósitos de espodumeno se encuentran en Australia, China y Canadá. La Figura 3 muestra un esquemático con los procesos de producción de litio desde salmueras y desde mineral de roca.

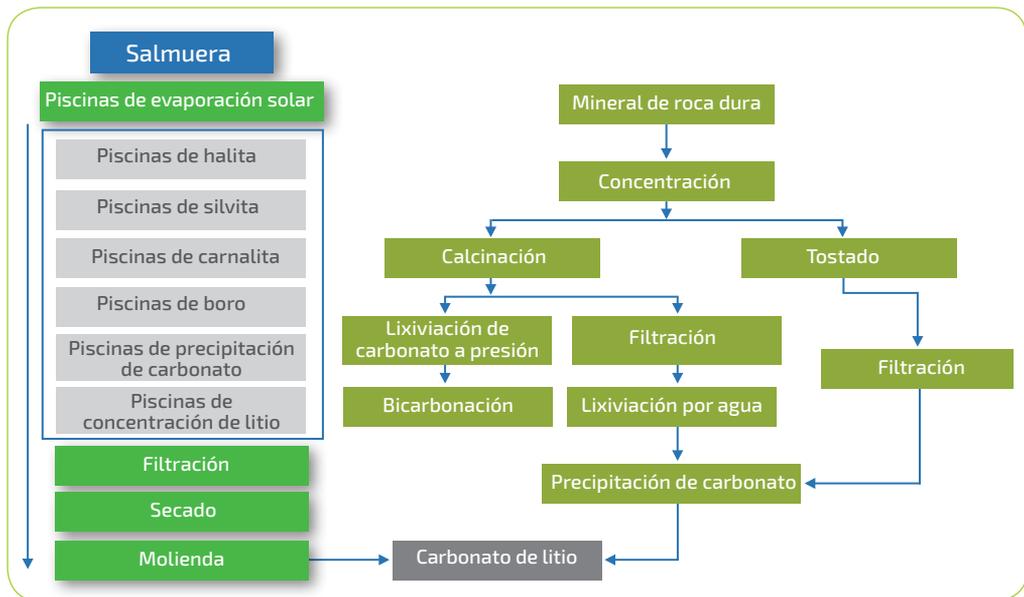


Figura 3.

Procesos de producción de litio desde salmueras y mineral de roca.

Fuente: CRU Consulting, (2018).

Recursos, reservas y producción

Las estimaciones de recursos y reservas varían año con año como muestran las Tablas 2 y 3 respectivamente. Los recursos se alteran en función de las campañas exploratorias en las que incurra cada país, y estas a su vez se intensifican en la medida que el recurso muestre que es estratégico, la demanda crezca sostenidamente, el precio sea atractivo, y las tecnologías para extraerlo estén disponibles. Por su parte, las reservas varían dinámicamente porque dependen de la rentabilidad económica del recurso mineral con la tecnología actual y el precio de mercado. Por ejemplo, el recurso litio de Chile crece sostenidamente en los últimos cinco años, aunque en forma muy suave. En cambio, el recurso litio crece bruscamente en Argentina en 2018, Bolivia en 2019, y México en 2018. Claramente Chile no está explorando con la intensidad que lo está haciendo Argentina, Bolivia y México.

En algunos países el litio ha disminuido en los últimos cinco años, como ocurre con China, lo que puede ser resultado del balance entre consumo de las existencias y falta de exploración. La Figura 4 complementa la Tabla 3 sobre las reservas mundiales de litio. Las reservas comprobadas de Chile aumentan sostenida, aunque suavemente en los últimos cinco años. Esto da cuenta que los recursos que aumentan año con año son factibles de extraer económicamente. Australia ha dado un salto considerable en reservas en 2020, porque definió su estrategia minera al litio y al cesio en desmedro del petróleo.

Algunos países como Bolivia y EE.UU. no tienen reservas declaradas por lo que los totales globales de litio, y por ende su oferta, en las Tablas 2 y 3 son considerablemente mayores. En 2021, Chile tiene 11% del total del recurso litio mundial ocupando el tercer lugar, y tiene 42% de las reservas de litio del mundo que lo convierten en el país con las mayores reservas y segundo productor a nivel mundial. De acuerdo con la Corporación Chilena del Cobre (Cochilco, 2018) las reservas de litio son suficientes para satisfacer el consumo de litio de los próximos 83 años, considerando la rampante demanda. El dilema es si los países que lo poseen están dispuestos a explotarlo. Estos datos dejan muy claro que el litio no es un metal escaso, la preocupación debiera estar en el aprovechamiento del recurso antes de que irrumpen los sustitutos.

Tabla 2.

Recursos de litio por país (en toneladas de litio). Fuente: Propia con datos de USGS, (1999, 2018, 2019, 2009, 2022).

País	2017	2018	2019	2020	2021
Chile	8.400.000	8.500.000	9.000.000	9.500.000	9.800.000
Argentina	9.800.000	14.800.000	17.000.000	19.300.000	19.000.000
Bolivia	9.000.000	9.000.000	21.000.000	21.000.000	21.000.000
Brasil	180.000	180.000	400.000	470.000	470.000
Australia	5.000.000	7.700.000	6.300.000	6.400.000	7.300.000
China	7.000.000	4.500.000	4.500.000	5.100.000	5.100.000
Portugal	100.000	130.000	250.000	270.000	270.000
EE.UU.	6.800.000	6.800.000	6.800.000	7.900.000	9.100.000
Canadá	1.900.000	2.000.000	1.700.000	2.900.000	2.900.000
México	180.000	1.700.000	1.700.000	1.700.000	1.700.000
Rusia	1.000.000	1.000.000	1.000.000	-	1.000.000
Serbia	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.200.000	1.200.000
Congo	1.000.000	1.000.000	3.000.000	3.000.000	3.000.000
Otros†	1.640.000	3.690.000	6.150.000	7.160.000	7.260.000
Total	53.000.000	62.000.000	79.800.000	85.900.000	89.100.000

†Otros países incluyen Alemania, Mali, Austria, Finlandia, Kazajistán, Namibia, Ghana, España, Zimbabwe, Perú, República Checa.

Tabla 3.

Reservas de litio por país (en toneladas de litio). Fuente: Propia con datos de USGS, (1999, 2018, 2019, 2009, 2022).

País	2017	2018	2019	2020	2021
Chile	7.500.000	8.000.000	8.600.000	9.200.000	9.200.000
Argentina	2.000.000	2.000.000	1.700.000	1.900.000	2.200.000
Bolivia	-	-	-	-	-
Brasil	48.000	54.000	95.000	95.000	95.000
Australia	2.700.000	2.700.000	2.800.000	4.700.000	5.700.000
China	3.200.000	1.000.000	1.000.000	1.500.000	1.500.000
Portugal	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
EE.UU.	35.000	35.000	630.000	750.000	750.000
Canadá	-	-	-	-	-
México	-	-	-	-	-
Rusia	-	-	-	-	-
Serbia	-	-	-	-	-
Congo	-	-	-	-	-
Otros	-	-	-	-	-
Total	16.000.000	14.000.000	17.000.000	21.000.000	22.000.000

†Otros países incluyen Alemania, Mali, Austria, Finlandia, Kazajistán, Namibia, Ghana, España, Zimbabwe, Perú, República Checa.

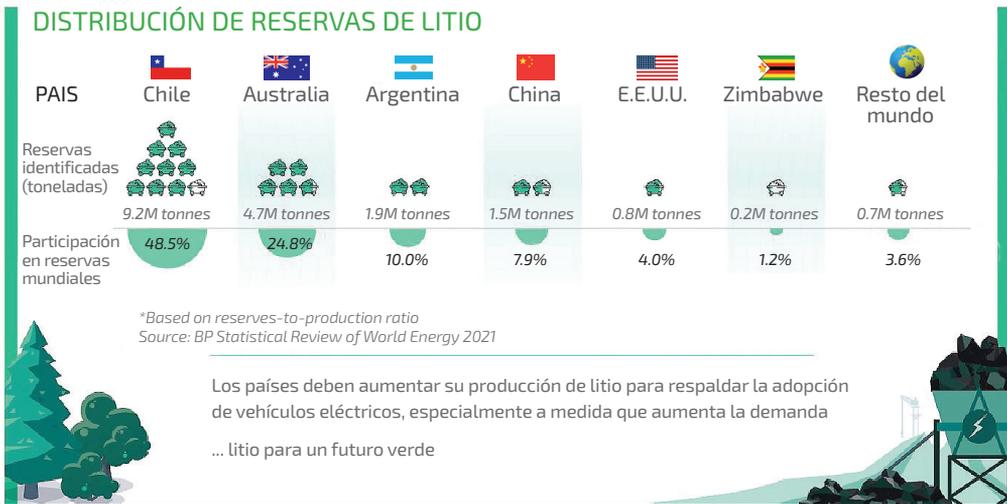


Figura 4.

Distribución de reservas de litio e impactos geoestratégicos.

Fuente: Adaptado de bp, (2021).

La producción mundial de litio en 1998 fue de 85 mil toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE de *Lithium Carbonate Equivalent*). Chile fue el líder con 28%, luego China con 18%, Australia con 17.5% y Argentina con 6%. Estos cuatro países sumaron 70% de la producción mundial. El factor de conversión de litio a carbonato de litio es aproximadamente 5. En este año surgieron Rusia y Canadá como importantes productores con 12.5 y 10% respectivamente. Diez años después, en 2008, la producción mundial fue de 130 mil toneladas de LCE liderada por Chile con un 41%, seguido de Australia con 26%, Argentina con 15% y China con 6% completando un 88% de la oferta mundial de litio. Una década después, en 2018, la producción fue de 450 mil toneladas de LCE con Australia liderando con el 60% seguido de Chile con 19%, China con 9.5% y Argentina con 7.4%.

Australia destronó a Chile como primer productor mundial en los años 2014-2015, y dobló a Chile en producción a partir de 2018. China desplazó a Argentina. En 2020 la producción mundial bajó, Covid de por medio, a un poco más de 400 mil toneladas respecto al pico de producción alcanzado en 2018, Australia siguió como líder con 46.4% seguido por Chile con 23.9%, China

con 16.2%, y Argentina con 7.2%. En 2020 solo China aumentó su producción de litio. Todos estos datos son de la USGS (2019) y algunos de World Mining Data.

La Tabla 4 resume los datos de producción entre 2010 y 2020. La Figura 5 muestra una representación gráfica de la producción entre 1995 y 2020. CRU (2018, 2019) pronostica que en 2024 China con un 21% de la producción desplazará a Chile que alcanzará un 18%. El liderazgo de Australia se mantendrá con un 42% y Argentina aumentará su producción a 10%.

En el pico de producción en Chile en 2028-2019, el litio representó un 1.78% de las exportaciones minerales totales del país. EL 90% como carbonato de litio, 6% como hidróxido de litio, y 4% como cloruro de litio (Cochilco, 2018). En el pico, la exportación de litio de Chile alcanzó 1000 millones de dólares aproximadamente, representando un 1.3% de las exportaciones del país. Aquí es oportuno volver a la pregunta sobre el carácter estratégico del litio para el país. En ese mismo año, las exportaciones de vino alcanzaron 1600 millones de dólares, las de salmón 4100 millones de dólares, las de frutas 4800 millones, y las de cobre 36000 millones de dólares.

La Figura 6 es un buen resumen de todas las cifras anteriores con recursos, reservas y producción por país y global en el año 2020.

Tabla 4.

Producción de litio por país (en toneladas de contenido de litio).

Fuente: Adaptado de bp, (2021) con datos de USGS (1999, 2018, 2019, 2009, 2022) y World Mining Data.

País	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Crecimiento anual (%)		
												2020	2009-19	Porción 2020
Argentina	3.0	3.0	2.7	2.5	3.2	3.6	5.8	5.7	6.4	6.3	6.2	-1.9	11.0	7.2
Australia	8.5	11.7	12.7	10.1	12.4	11.9	14.0	21.3	57.0	45.0	40.0	-11.4	23.4	46.4
Brasil	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	2.4	1.9	-21.0	31.1	2.2
Chile	10.4	13.6	13.9	11.7	12.0	10.9	15.2	15.8	18.8	22.1	20.6	-7.0	14.0	23.9
China	4.0	4.1	4.5	4.7	2.3	2.2	2.3	6.8	7.1	10.8	14.0	29.3	11.1	16.2
Portugal	0.8	0.8	0.6	0.6	0.3	0.2	0.4	0.8	0.8	0.9	0.9		n/a	1.0
EEUU	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9		-5	1.0
Zimbabwwe	0.5	0.5	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	0.8	1.6	1.2	1.2		11.6	1.4
Resto mundo							0.2	1.1	2.3	0.5	0.5		5.6	0.6
Total mundo	28.2	35.0	36.6	31.9	32.2	30.7	40.0	53.3	95.2	90.2	86.3	-4.6	16.3	100

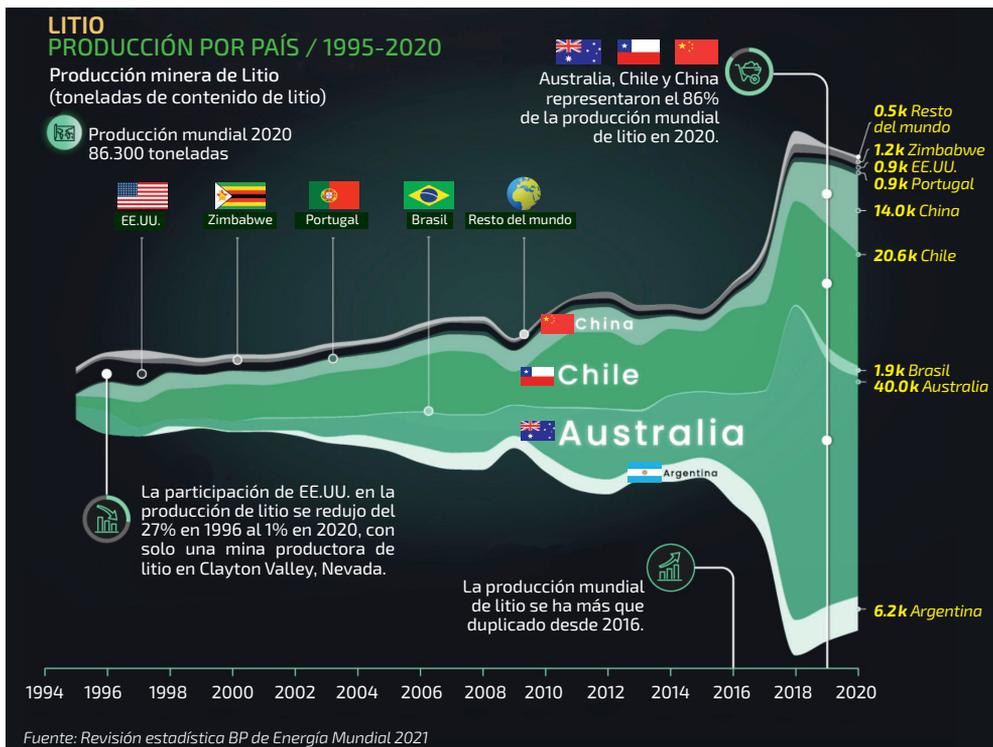


Figura 5.

Producción de litio por país 1995-2020. Fuente: bp, (2021).

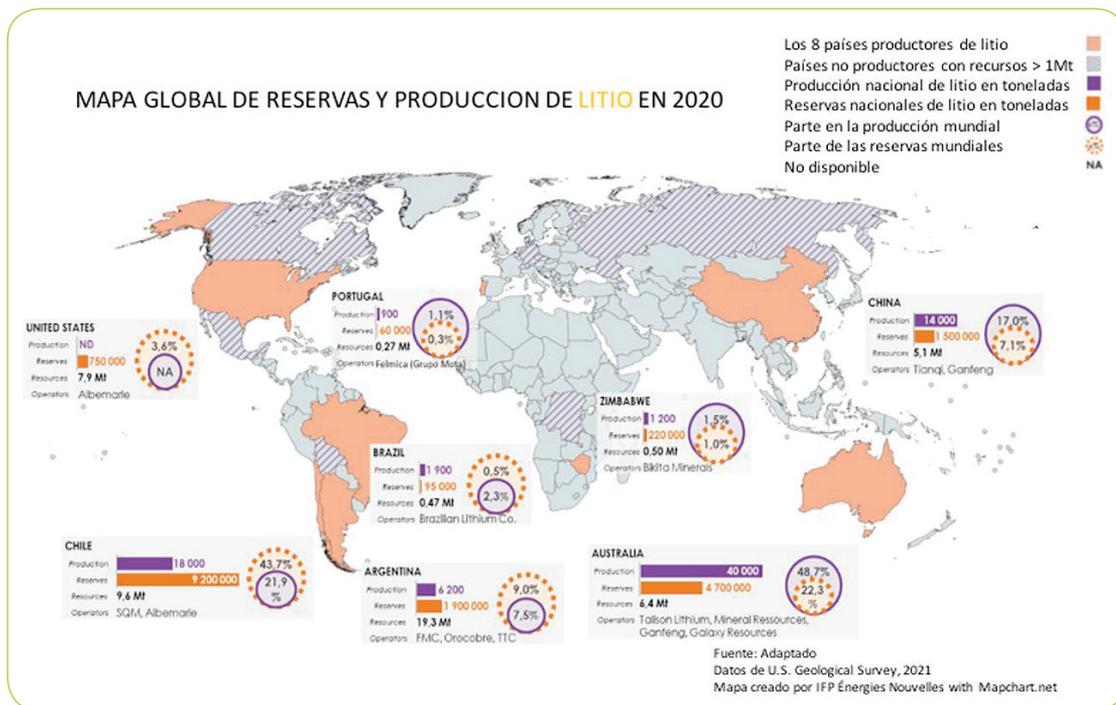


Figura 6.

Mapa mundial de reservas y producción de litio en 2020. Fuente: Datos de U.S. Geological Survey, (2021). Mapa creado por IFP Énergies Nouvelles (2021) with Mapchart.net. Algunas adaptaciones son propias de este trabajo.

Cadena de valor del litio y la electromovilidad

La cadena de valor del litio es dividida en seis grandes etapas (Poveda, 2020; López *et al.*, 2019):

- Materias primas
- Fabricación de componentes
- Fabricación de celdas
- Baterías
- Usos y producto final
- Reciclaje de baterías

La Figura 7 muestra un dibujo esquemático de todos los eslabones de la cadena de valor del litio. A medida que avanza la cadena hacia el producto final los eslabones requieren altos niveles de especialidad. El eslabón correspon-

diente a la extracción, como se abordó antes, da cuenta de los principales países productores, Australia, Chile, China y Argentina, en orden descendente de aporte a la producción mundial. Las principales empresas son cinco, dos estadounidenses, dos chinas, y una chilena. En la cadena de valor, Chile, al igual que Argentina y Australia, participa en los primeros eslabones hasta la producción de productos básicos de litio (Figura 7). Los eslabones de alta especialidad son dominados por los países asiáticos incluyendo Japón, Corea del Sur y principalmente China, que son los mayores importadores y a la vez los principales fabricantes de productos intermedios y finales de litio.

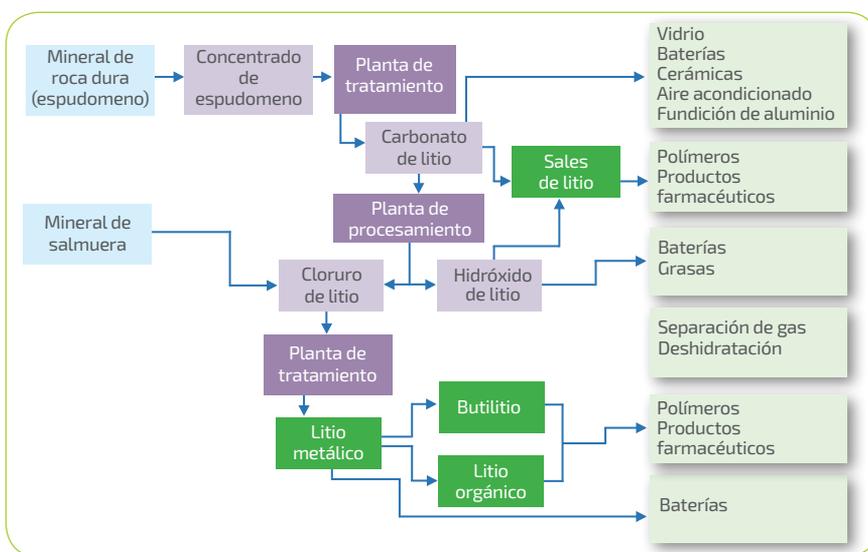


Figura 7.

Eslabones de la cadena de valor del litio y sus procesos hasta la fabricación de baterías. Fuente: Poveda, (2020).

La Figura 8 resume la historia de las baterías de litio como producto final. Con frecuencia se escucha que Chile se suma a la cadena de valor del litio, lo que significa inscribir el nombre de nuestro país en la Figura 8. Es difícil vislumbrar que eso pueda ocurrir sin un plan, su correcta implementación, y el aporte decidido del Estado de Chile a la vinculación del país con los principales actores del eslabón final de la cadena. La tarea es difícil incluso para EE.UU., y Europa como se puede ver en la Tabla 5, que muestra una proyección de la capacidad de producción de baterías de litio por país, que es liderada muy de lejos por China. La Tabla 6 resume las megas fábricas de baterías de litio al 2023 por país, prácticamente todas controladas por China.

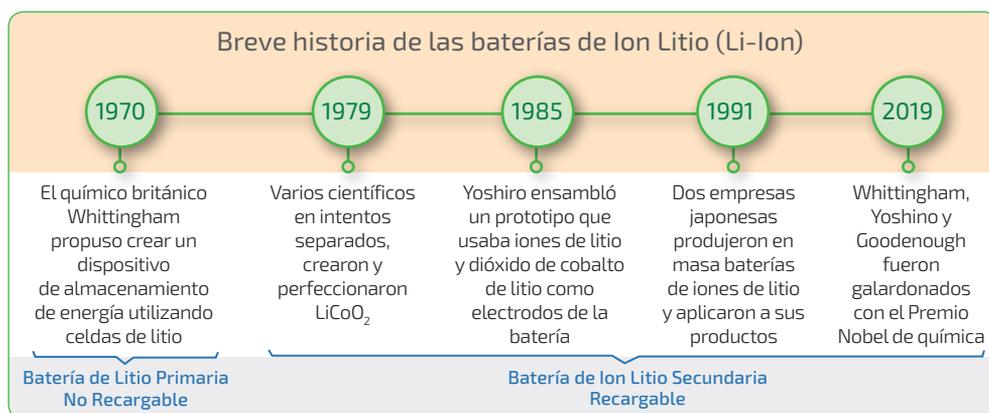


Figura 8.

Breve historia de las baterías de litio.

Fuente: Adaptado del original de The Earth Awards, (2019)

Tabla 5.

Proyección de la capacidad de producción de baterías de litio por región/país.

Fuente: Datos de Benchmark Mineral Intelligence, (2021).

Región	Capacidad (GWh, 2018)	Capacidad (GWh, 2023)	Capacidad (GWh, 2028)
China	134.5	405	631
Europa	19.6	93.5	207
América del Norte	20.9	81	148
Asia (sin China)	45.5	78.5	111.5
Otros	0	0	5
Total	220.5	658	1102.5

Tabla 6.

Mega fábricas de baterías de litio al 2023 por país.

Fuente: Datos de Benchmark Mineral Intelligence, (2021).

Mega fábrica	Propietario	País	Capacidad proyectada (GWh, 2028)
CATL	Contemporary Amperex Technology Co.Ltd.	China	50
Tesla Gigafactory 1	Tesla Inc / Panasonic Corp (25%)	E.E.U.U.	50
Nanjing LG Chem New Energy Battery Co., Ltd.	LG Chem	China	35
Nanjing LG Chem New Energy Battery Co., Ltd. (Planta 2)	LG Chem	China	28
Samsung SDI Xian	Samsung SDI	China	25
Funeng Technology	Funeng Technology (Ganzhou)	China	25
BYD, Qinghai	BYD Co. Ltd.	China	24
LG Chem Woklaw Energy Sp. Z o.o.	LG Chem	Polonia	22
Samsung SDI Korea	Samsung SDI	Rep. Corea	20
Lishen	Tianjin Lishen Battery Joint-Stock Co., Ltd.	China	20

La Figura 8 y las Tablas 5 y 6 revelan que el acceso a los eslabones finales de la cadena de valor del litio, y por ende a la electromovilidad, está atravesado por barreras de entrada tan altas para países como Chile que solo una intervención protagónica del Estado podría ayudar a disminuir las brechas tecnológicas y de conocimiento y manejo del mercado del litio.

LITIO Y SU CARÁCTER ESTRATÉGICO EN EL MUNDO

A medida que el cambio climático impacta en todo el mundo, la importancia del litio como mineral estratégico para los sistemas de energía limpia del futuro, aumenta aceleradamente. La creación de las baterías de iones de litio en 1991 transformó la industria eléctrica por ser recargables, livianas y con capacidad para almacenar grandes cantidades de energía. Solo en los últimos cinco años, la demanda de baterías de iones de litio se disparó y el precio del litio se duplicó entre 2016 y 2018. En el futuro, se espera que la industria del litio crezca ocho veces aproximadamente para 2027. Estas tendencias, y el acentuado carácter estratégico del litio, están desatando una gran disputa geopolítica entre las grandes potencias: China, EE.UU. y Europa.

América Latina es la región del mundo con la mayor cantidad de litio. Su llamado Triángulo de Litio (Chile, Argentina, Bolivia) debiera convertirse inevitablemente en el nexo de todas las potencias. Aproximadamente el 58% de los recursos de litio del mundo se encuentran en estos tres países. China actualmente lidera el mundo en la producción de vehículos eléctricos. En gran parte porque ha adquirido el 55% del suministro de litio que se requiere para baterías, principalmente a través de sus primeras inversiones en el litio de Australia.

Más recientemente, y a fin de mantener esta ventaja competitiva, las empresas chinas están invirtiendo de manera importante en el Triángulo del Litio. Ganfeng Lithium, por ejemplo, es el accionista mayoritario en Argentina, y Tianqi Lithium es el segundo mayor accionista en Chile. Estas dos compañías representan dos de las tres principales compañías mineras de litio del mundo. China aumenta su influencia en los países del Triángulo del Litio con mayores inversiones, pero también lo ha hecho con su agresiva diplomacia de vacunas, y por eso es muy probable que siga dominando la industria emergente del litio en los países suramericanos. La opinión en Estados Unidos es que deben seguir la misma estrategia, fortaleciendo prontamente los lazos con los países del Triángulo del Litio, que, pasada la pandemia, o al menos atenuada, necesitan desesperadamente inversión para reimpulsar sus economías.

La mayor parte de la conversación de Estados Unidos con América del Sur sobre cambio climático y energía limpia se ha centrado en la deforestación acelerada de la selva amazónica, pero el desafío energético actual sitúa al Triángulo del Litio como objeto de mayor atención debido a su enorme

impacto en el futuro de la tecnología verde y la transición hacia fuentes de energía más limpias. La ambiciosa agenda de la actual administración de los Estados Unidos en cambio climático y energía limpia presenta una oportunidad única de compromiso con los países de América Latina, que pueden ser socios clave para sus objetivos de energía limpia (CSIS, 2021).

El proceso de extracción de litio desde salmueras utilizado en el Triángulo de Litio presenta algunos problemas socio-ambientales, algunos más preocupantes que otros. Por ejemplo, el proceso requiere 2 mil metros cúbicos de agua por tonelada de litio extraído. La extracción de decenas de miles de toneladas de litio podría provocar una crisis de sostenibilidad del agua si no se toman los resguardos. El suministro de agua restante corre el riesgo de contaminarse con la química usada en el proceso. Las actividades agrícolas se debilitan por la escasez de agua y su posible mala calidad, lo que también puede afectar a las comunidades vecinas a las plantas de extracción. Estos temas de preocupación no son exclusivos de América del Sur; algunos de ellos se están replicando en las operaciones de extracción de litio en Nevada. En este contexto, la industria del litio en los países del Triángulo del Litio y en otros países con salmueras ricas en este mineral, debe encontrar un equilibrio entre las oportunidades para una mayor extracción de litio y los impactos socio-ambientales del proceso de extracción (CSIS, 2021).

En el oeste de EE. UU., las empresas se apresuran a desarrollar minas de litio, en parte debido a los nuevos métodos de extracción, pero también porque el gobierno federal está acelerando su extracción.

En 2018, el Departamento del Interior de Estados Unidos incluyó al litio como un mineral crítico, lo que aceleró el proceso de obtención de permisos para minas. Por minas nos referimos a minas y salares. La administración anterior, aceleró el proceso de revisión ambiental para proyectos en tierras federales, favoreciendo la aprobación de estos yacimientos. El asunto es que Estados Unidos tiene enormes depósitos de litio, pero solo hay una antigua mina de litio, ubicada en Silver Peak en el condado de Esmeralda en Nevada, que produce modestas 5 mil toneladas de litio por año, largamente insuficientes para mantener la seguridad y liderazgo tecnológico de Estados Unidos. Es aquí donde podrían confluír los intereses de Estados Unidos y países del Triángulo del Litio. Se trataría de una experiencia ganar-ganar. Las ganancias son varias:

1. Una alianza fuerte podría aumentar la producción en el Triángulo del Litio, que en Chile ya es importante considerando que es resultado de solo dos compañías, y de esta manera ayudar al mundo en general a reducir las emisiones de carbono.
2. Asociaciones estratégicas e inversiones específicas de Estados Unidos en empresas tecnológicas en el Triángulo de Litio podrían estimular la producción regional de baterías de iones de litio, esta posibilidad remota cumpliría el anhelo de Chile de agregar valor al litio, y no solo ser un gran actor en la exportación de la materia prima.
3. La dependencia de las cadenas de suministro chinas disminuiría, lo que es bueno para todos los países.
4. En particular, los resultados de las inversiones de Estados Unidos en tecnologías emergentes de extracción podrían ser compartidos, en virtud de asociaciones estratégicas, con los países del Triángulo del Litio. Por ejemplo, la investigación actual sugiere que la extracción directa de litio preserva más del 98% del suministro de agua utilizado durante la extracción. En el proceso, el litio se extrae de la salmuera sin el uso de pozas de evaporación (Figura 9).

La implementación exitosa de tecnologías de este tipo en el Triángulo de Litio podría reducir las externalidades en el suministro de agua local y los efectos concomitantes en las comunidades de pueblos originarios. Para que esto ocurra, se necesita mucha voluntad y diplomacia. Como Estados Unidos no puede esperar, para asegurar el litio que necesita ha comenzado una estrategia que puede no ser conveniente para los países del Triángulo del Litio.



Figura 9.

Nueva tecnología de extracción directa de litio, que utiliza un absorbente selectivo mejorado y un concepto de ingeniería radical para producir litio de alta calidad a partir de salmueras.

Fuente: Traducido de International Battery Metals, (2021)

Los temas de sustentabilidad son importantes para Estados Unidos, pero la materia prima estratégica para mantener su liderazgo tecnológico también lo es. Los inversores están haciendo fila para invertir en nuevos procesos de extracción de litio. Desde principios de 2022, los especuladores ya han recaudado 3.500 millones de dólares y cada día entra más dinero. Mientras tanto, se buscan licencias para nuevas minas de extracción de litio en estados tan diversos como Arkansas, California, Carolina del Norte, Dakota del Norte, Oregón y Tennessee (Warwick, 2021). A medida que presionan para firmar acuerdos con fabricantes de automóviles, compañías de tecnología móvil y fabricantes de baterías de EE.UU., los intereses mineros, citando preocupaciones de seguridad nacional para acelerar la aprobación de la autoridad de planificación y los permisos, están presionando fuertemente para obtener una subvención de 10 mil millones de dólares. También están mirando al mar.

El último Servicio Geológico de EE.UU. calculó que hay al menos 230 mil millones de toneladas de litio en solución en los mares, pero en concentraciones de solo 0.2 partes por millón, por lo que concentrar el litio que contiene es aun inviable. Un plan posiblemente alcanzable es obtener litio de la salmuera debajo del Mar de Salton, el lago más grande del sur de California, que se encuentra encima de la Falla de San Andrés. Todo esto sumado al desarrollo de nuevas plantas en Silver Peak en Nevada. Esta carrera es contra el tiempo, porque las alternativas al litio avanzan en su pretensión de ser comerciales. Más fácil sería contar con parte del litio del Triángulo del Litio.

En septiembre de 2020, la Comisión Europea presentó un plan de diez acciones para asegurar el suministro de materias primas críticas para las economías de la UE, en cuya ocasión complementó la lista con nuevas sustancias necesarias para tecnologías y sectores estratégicos. La lista de materias primas críticas incluye treinta, y entre las nuevas se encuentra el litio, fundamental para las baterías necesarias para pasar a la movilidad eléctrica, así como para el almacenamiento de energía.

El impacto ambiental relacionado con la extracción de litio y el aumento de la presión ambiental en torno a la huella de carbono de las tecnologías de transición ecológica han generado un gran interés en el litio verde, es decir, el litio de aguas geotérmicas. Para el mismo volumen de litio extraído, este método consumiría 150 veces menos agua y 3000 veces menos tierra que la operación de reservorios subterráneos (litio de roca). Pero hay detractores, en particular respecto al impacto de las perforaciones geotérmicas. Las reservas geotérmicas de litio se han localizado en Estados Unidos, pero también en Europa (Alemania, Francia, Reino Unido). La idea del litio "hecho en Europa" también resulta especialmente atractiva para la Unión Europea, cuya ambición industrial es reducir su dependencia de China y Asia en general, en el segmento de baterías destinadas a vehículos eléctricos. Esta ambición se ha reflejado en el lanzamiento en 2017 de la Alianza Europea para Baterías, un proyecto apoyado por la Comisión Europea y que reúne a más de 500 actores públicos y privados del sector.

Alemania también está preocupada por no tener asegurado el suministro de litio y por eso, al igual que está haciendo Estados Unidos, salió a buscar litio en su territorio. Los geólogos han estimado que un área en el Valle Superior del Rin, en el área de la Selva Negra en el suroeste de Alemania, contiene suficiente litio para más de 400 millones de autos eléctricos, lo que lo convierte en uno de los depósitos más grandes del mundo. El tesoro podría

reducir la dependencia de la industria automovilística alemana del litio importado. La Comisión Europea estima que Europa necesitará aumentar su suministro de litio en un factor de 18 para 2030 y de 60 para 2050. Hasta la fecha, Europa ha estado importando la mayor parte de su litio del Triángulo del Litio en América del Sur y de Australia. Ambas fuentes tienen impactos ambientales locales sustanciales, además del costo de carbono del envío del litio alrededor del mundo.

La *startup* germano-australiana Vulcan Energy Resources dice que puede entregar litio neutral en carbono, extraído en centrales eléctricas geotérmicas y que podría estar produciendo 15 mil toneladas de hidróxido de litio por año en dos sitios para 2024, y 40 mil toneladas adicionales por año en una segunda fase a partir de 2025. El proyecto utilizará el método de extracción directa de litio para extraer el litio de la salmuera. Ya están en conversaciones con los fabricantes de cátodos y baterías, pero todas las partes reconocen que llevará tiempo entregar volúmenes sustanciales. La empresa de servicios públicos EnBW también tiene planes para extraer litio en el área de la Selva Negra, en una planta existente en la ciudad de Bruchsal. La compañía estima que el sitio de Bruchsal podría producir 900 toneladas de litio por año.

Al parecer, el litio del Triángulo del Litio sigue siendo más accesible, pero a Europa le preocupan los problemas socio-ambientales que subyacen en la extracción del mineral al punto que pueden ser impedimento para futuras compras. Por ejemplo, actualmente, Volkswagen está recopilando datos para obtener su propia impresión del suministro de agua en el desierto de Atacama en Chile de las compañías que extraen litio. Como cuestión de principio, todos los proveedores de Volkswagen están obligados por contrato a cumplir con altos estándares ambientales y sociales. El asunto es qué pueden hacer sin litio del Triángulo del Litio.

POLÍTICA PÚBLICA DEL LITIO EN CHILE: DESCIFRANDO SU CARÁCTER ESTRATÉGICO

La evolución de la política pública del litio en Chile es brillantemente analizada por Poveda (2020). El estudio parte desde el inicio de su producción en los 80, continúa con el salto productivo en los 90, y profundiza en el auge de la demanda a nivel global en el nuevo milenio. Los principales hitos o etapas en la gobernanza del litio en Chile son cuatro:

- (i) Etapa 1. Gobernanza jerárquica: Recurso estratégico (1970-1983)
- (ii) Etapa 2. Gobernanza del mercado: Privatización y salto productivo (1984-2004)
- (iii) Etapa 3. Gobernanza jerárquica: Hallazgo del litio (2005-2013)
- (iv) Etapa 4. Gobernanza jerárquica: Auge del litio (2014-2022)

La Figura 10 muestra un resumen de los problemas colectivos y las reformas institucionales que subyacen la gobernanza desde 1970 a los tiempos actuales.



Figura 10.

Etapas de la transformación institucional del litio en Chile.

Fuente: Poveda, (2020)

Un breve análisis de cada etapa es expuesto en las palabras de Poveda (2020). En la Etapa 1 se construyó el andamiaje jurídico que regula la propiedad, la reserva estatal como recurso estratégico, la no consesibilidad y los mecanismos de participación estatal y privada en el aprovechamiento del litio en Chile. En 1979, con la publicación del Decreto Ley No. 2.886, el litio (al igual que el uranio y el torio) quedó reservado para el Estado por razones e interés nacional, se excluyó del régimen concesional minero y se determinó la tutela de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) para cualquier acto o contrato relacionado con el mineral. En esta etapa se incrementa el control del Estado sobre los materiales de interés nuclear dando origen a un marco jurídico vigente hasta el día de hoy. La interacción de los actores, CORFO como principal, fue colaborativa pero jerárquica, dirigida por el Estado.

En la Etapa 2, entre 1987 y 1995, el Estado sale de los proyectos de asociación para la explotación del litio, delegando en empresas privadas la responsabilidad de la inversión en exploración y explotación del mineral. El Estado deja de tener un rol relevante en la gestión, control y fiscalización del recurso litio. A partir de 1997, Chile se convirtió en líder de la producción de litio a escala mundial. En esta etapa la interacción de los actores fue colaborativa en un marco de gobernanza del mercado.

La Etapa 3 está marcada por el auge de los precios internacionales de las materias primas, incluido litio, cuyo principal vector es la provisión para baterías. Dos momentos distintos caracterizan esta etapa. Por un lado, entre 2005 y 2010 se produce el "hallazgo el litio" copando la agenda política del país. Por otro, entre 2010 y 2014 se intenta ampliar la oferta productiva de litio, pero fracasa. La modalidad de interacción de los actores fue confrontativa en un estilo de gobernanza jerárquico. Colisionan los intereses de las empresas productoras de litio en Chile con el Estado, que redescubre este material estratégico desconocido o ignorado. Incertidumbres y dudas abundan sobre la gobernanza, las expectativas económicas, y los niveles de producción.

La Etapa 4 parte en 2014 y se extiende hasta la actualidad. Destacan arreglos institucionales como la conformación de una Comisión Asesora Presidencial para la política pública del litio, la creación transitoria del Comité de minería No Metálica, la negociación de los nuevos contratos de SQM y Albemarle con CORFO, y las licitaciones impulsadas por CORFO con incentivos para la innovación y la creación de valor agregado en las cadenas de valor del litio. El incremento en la producción de litio permitió a Chile recuperar el liderazgo

productivo a nivel mundial. Los ingresos se distribuyeron de forma más equitativa entre el Estado, las empresas y las comunidades, con obligaciones de pagar una regalía variable e incremental vinculada con el precio de venta del mineral, y aportar recursos financieros a las comunidades y gobiernos locales.

Finalmente, los nuevos contratos le darían al Estado las herramientas para el impulso de políticas públicas en investigación, desarrollo, innovación y valor agregado en los eslabones de la cadena de valor del litio, sobre la base de recursos financieros directos a favor de planes y programas para estos fines. A la fecha, CORFO ha aprobado dos proyectos, el Instituto de Tecnologías Limpias y el Centro de Investigación de Economía Circular. En esta etapa la interacción entre los actores fue confrontativa en un marco de gobernanza jerárquico.

Esta breve revisión de la política pública del litio en Chile, que deja varias conclusiones, ayuda a descifrar el verdadero carácter estratégico del litio para el país.

La estabilidad y certeza jurídica de Chile ha permitido que el diseño institucional de los años 70 no se haya alterado, manteniendo las barreras para la incorporación de nuevos actores productivos en la extracción del mineral. Ese marco legal rígido considera al litio como un recurso estratégico y reservado para el Estado. Pero esta consideración no es respecto a la electromovilidad sino al añejo ámbito nuclear. La rigidez ha permitido que solo dos empresas privadas, una nacional y otra extranjera, se hicieran cargo de la exploración y explotación del litio en Chile con cuotas acotadas bien definidas. Aparentemente Chile no reconoce una oportunidad de desarrollo en el litio, y por eso no lo produce en los volúmenes que espera el mercado. Más preocupante es que ignora que el litio tiene sustituto, aunque aún el desarrollo no alcanza nivel de proposición comercial, pero lo hará en menos de diez años. En los últimos meses ha habido un aumento repentino de publicaciones científicas sobre el enorme potencial de las baterías recargables de iones de grafeno-aluminio. Se proyecta que tendrán una vida tres veces mayor que las baterías de iones de litio disponibles en la actualidad y que podrán cargarse 60 veces más rápido que las celdas de iones de litio.

Por otra parte, en una investigación en la Universidad de Washington State (WSU) (Song *et al.*, 2020) se ha creado un nuevo cátodo de sodio en capas

y un electrolito salino que elimina los dos inconvenientes de las baterías de sodio. La nueva batería de sodio almacena tanta energía como las baterías equivalentes de litio y mantiene más de 80% de su capacidad después de mil ciclos de carga y descarga. Se pensaba que este avance ocurriría en un horizonte de diez años, pero está adelantado. Aún no se puede decir que una batería de sodio reemplazará la de litio, pero la investigación en curso está demostrando que es viable y que incluso podría prescindir del cobalto, otro componente caro y escaso en las baterías. El científico que sentó las bases para las baterías de litio que se usan hoy, el ganador del Premio Nobel M. Stanley Whittingham, dijo "será litio por los próximos 10 a 20 años". Sin embargo, con seguridad el reemplazo ocurrirá antes, tal vez 10 años o menos, ese es el tiempo que tiene Chile para explotar y aprovechar su litio (Toledo *et al.*, 2022).

El modelo de gobernanza del litio ha sido jerárquico. En la última etapa (2014-2022) el Estado definió lineamientos de gobernanza del litio con una mirada integral, revisó las condiciones que regulan el aprovechamiento del mineral, y creó herramientas para la implementación de políticas públicas desde una perspectiva más exigente de apropiación de renta, distribución territorial real, valor compartido tangible, y salvaguardas ambientales. Los esfuerzos impulsados por Chile hasta 2022 en convocatorias a fabricantes especializados y a centros de investigación y desarrollo tecnológico, vinculados a la minería el cobre, del litio, la energía solar, y más recientemente al hidrógeno verde, deben complementarse con políticas públicas que coloquen al Estado como protagonista en el impulso y coordinación de la gran transformación productiva del país. Está la buena intención, pero no es suficiente.

La instalación de una industria en la cadena de valor de litio en Chile, además de incentivos económicos requiere de una vinculación de carácter político-técnico con algún país actualmente líder en la fabricación de productos de valor agregado de litio. Chile perfectamente puede asegurar la provisión de litio a cambio de participar "como alumno en práctica" en los últimos eslabones de la cadena de valor del litio. ¿Será utópico pensar que Elon Musk se podría interesar en un trato de esta naturaleza? Es sabido que, en su afán de asegurar la provisión de litio para sus Teslas, Musk compró una mina de litio en Nevada, el problema es que el litio se encuentra en arcillas y nadie sabe aún como explotarlas. Más fácil sería mirar hacia Chile, como sí lo hace Volkswagen. Un paso de Chile en esta dirección redefiniría el carácter estratégico del litio esta vez a la electromovilidad.

CONCLUSIONES

El litio es componente esencial de tecnologías modernas, seguridad y prosperidad económica. En particular, el litio es clave en baterías recargables esenciales para la vida, doméstica e industrial. En la última década el litio ha concentrado la atención mundial por su vínculo con la transformación energética y las políticas de cambio climático del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A medida que el mundo transite a una economía de energía limpia, la demanda mundial de minerales críticos se disparará entre un 400 y un 600 por ciento durante las próximas décadas y, para minerales como el litio y el grafito utilizados en las baterías de vehículos eléctricos, la demanda aumentará en un aún más, tanto como 4000 por ciento. Para China, Estados Unidos y Europa el litio es estratégico porque sus liderazgos tecnológicos dependen de este metal.

Paradójicamente, sin embargo, las fuentes principales de litio se concentran en tres países de América del Sur, Chile, Argentina y Bolivia, en el llamado Triángulo del Litio, cada uno viviendo procesos políticos particulares que deben decidir sobre la disponibilidad del mineral y cada uno enfrentando las externalidades en el suministro de agua local y los efectos concomitantes en las comunidades de pueblos originarios. Por otra parte, China controla la mayor parte del mercado de procesamiento y refinación de litio, además de cobalto, tierras raras y otros minerales críticos.

Por eso los países industrializados de occidente han iniciado planes para la explotación del mineral en lugares impensados, aunque producciones significativas no vendrán pronto. Chile declaró el litio como estratégico en 1979 en el contexto nuclear poco relevante en la actualidad. La realidad hoy es que el litio para Chile es tan estratégico como las cerezas, los salmones y el vino, porque el impacto de su venta es solo renta al Estado, muy importante pero solo eso.

Como país, Chile es actor principal en el primer eslabón de la cadena de valor del litio, pero no juega rol alguno en los eslabones de mayor valor que producen las codiciadas baterías. Para que el litio sea verdaderamente estratégico para el país se debe implementar un plan de gobernanza del metal más efectivo, que lo incorpore a la cadena de valor, enlazando la actividad primaria-exportadora, que ha sido exitosa hasta ahora.

Chile es el segundo productor a escala mundial, con la innovación y el conocimiento, abordando apropiada e integralmente los conflictos socio-ambientales que rodean la actividad. Los tiempos no pueden ser más propicios, Estados Unidos y Europa necesitan asegurar la provisión de litio para sus proyectos de energía limpia, Chile lo tiene en abundancia, pero aspira a ser actor en toda la cadena de valor. Qué mejor oportunidad para que la economía, la política y la diplomacia de Chile construya una inédita sociedad con los países que lideran el reemplazo del petróleo por energías limpias.

REFERENCIAS

- Benchmark Mineral Intelligence. 2021.
- Bp. (2021). Statistical Review of World Energy 2021, 70th edition.
- Cochilco. 2018. Mercado internacional del litio y su potencial en Chile.
- Cochilco. 2020. Oferta y demanda de litio hacia el 2030.
- CRU Consulting. 2018. Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano y largo plazo con vigencia al año 2035.
- CRU Consulting. 2019. Lithium market risks and opportunities for Chile. III Foro Internacional de Litio, agosto, Santiago de Chile.
- CSIS. 2021. Center for Strategic and International Studies, South America's Lithium Triangle: Opportunities for the Biden Administration.
- Ding, Y. et al. 2019. Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives. *Electrochem. Energ. Rev.* 2, 1–28.
- IFP Énergies Nouvelles. 2021. Lithium in the energy transition: More than a resource issue?
- International Battery Metals. 2021. Lithium Extraction Technology.
- López, A. et al. 2019. Litio en la Argentina, Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor. Buenos Aires, Argentina.
- Poveda, R. 2020. Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile. *Recursos Naturales y Desarrollo, Serie 195, CEPAL.*
- Song, J., Wang, K., Zheng, J., Engelhard, M. H., Xiao, B., Hu, E., Zhu, Z., Wang, C., Sui, M., Lin, Y., Reed, D., Sprenkle, V. L., Yan, P., Li, X. 2020. Controlling surface phase transition and chemical reactivity of O3-layered metal oxide cathodes for high-performance Na-ion batteries. *ACS Energy Lett.* 5(6), 1718–1725.
- The Earth Awards. 2019. The common uses of lithium-ion batteries.
- Toledo, P.G., Rozas, R.E., Yepsen, R., Gutierrez, L. 2022. Corre litio que te pillan el sodio, Serie Comunicacional CRHIAM, en prensa.

- USA White House Briefing Room. 2022. Fact Sheet: Securing a Made in America supply chain for critical minerals, febrero 22.
- USGS. 1999. Mineral commodity summaries.
- USGS. 2018. Mineral commodity summaries.
- USGS. 2019. Mineral commodity summaries.
- USGS. 2009. Mineral commodity summaries.
- USGS. 2022. Mineral commodity summaries.
- Wood Mackenzie. 2018. Global copper mine supply summary.
- Warwick, M. 2021. Lithium mining now a strategic geopolitical issue for the US.



Universidad de Concepción

LITIO

¿RECURSO ESTRATÉGICO?

PARA SABER Y CONTAR

Pedro G. Toledo / Omar Blas Alvarado / Roberto E. Rozas
Gonzalo R. Quezada / Leopoldo Gutiérrez

Serie Comunicacional CRHIAM



CRHIAM
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/15130015



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia



Agencia
Nacional de
Investigación
y Desarrollo
Ministerio de Ciencia,
Tecnología, Conocimiento
e Innovación
Gobierno de Chile