

Desbloqueando el éxito de América Latina en la industria del Litio

Junio, 2024

■ *Fernando Anaya*



■ *El triángulo del litio formado por Argentina, Bolivia y Chile puede ser el gran proveedor mundial de "oro blanco", pero la discusión en la región sobre un marco regulatorio para el desarrollo de la actividad podría dificultar su avance.*

Índice

I.	Introducción	3
II.	Impulsores globales de la industria del litio	4
III.	Latinoamérica en los recursos y reservas globales de litio	7
IV.	Cadena de valor regional	10
	4.1 Capacidad instalada	11
	4.2 Producción regional	12
	4.3 Exportación de litio	13
V.	Desafíos	15
	5.1 Desafío 1: La competencia que representan los avances tecnológicos	15
	5.2 Desafío 2: Inversiones de largo plazo con retorno insuficiente	16
	5.3 Desafío 3: Obtención de permisos y aprobaciones impredecibles	17
	5.4 Desafío 4: Pocos incentivos para "comprar local"	18
	5.5 Desafío 5: Debilidades institucionales y en la creación de conocimiento técnico	19
	5.6 Desafío 6: Dependencia de proveedores extranjeros para equipos clave	20
	5.7 Desafío 7: Salvaguardas ambientales y sociales	20
VI.	Áreas de oportunidad a incluir en políticas públicas	22
	6.1 Preservar posicionamiento del litio ante productos sustitutos	22
	6.2 Exploración y extracción	23
	6.3 Transformación de litio	24
	6.4 Comercialización y usos	26
	6.5 Economía circular	28
VII.	Principios orientadores de estrategias y políticas públicas	29
	7.1 Fomento de la seguridad jurídica y regulatoria	29
	7.2 Desarrollo y adopción de tecnologías innovadoras	29
	7.3 Impulso al desarrollo de capacidades locales	30
	7.4 Integración de la industria del litio en las cadenas de valor regionales	30
	7.5 Promoción del reciclaje y la economía circular	30
	7.6 Compromiso con la responsabilidad social y ambiental	31
VIII.	Bibliografía	32

I. Introducción

El litio, fundamental en la transición energética global, es un recurso estratégico para América Latina. La región, especialmente a través del “triángulo del litio” conformado por Bolivia, Argentina y Chile, cuenta con vastas reservas que ofrecen una oportunidad única para fomentar el desarrollo económico más allá de la simple extracción. Este mineral es esencial para la fabricación de baterías de iones de litio, utilizadas en la descarbonización del transporte y en el almacenamiento de energía renovable, y puede convertirse en un catalizador para la transformación industrial y tecnológica de las economías locales.

Aprovechar este potencial requiere de políticas eficaces y de una infraestructura robusta que permitan desarrollar toda la cadena de valor del litio en la región. Esta tarea es compleja y abarca desde la extracción hasta la producción avanzada de componentes para baterías, lo que puede fortalecer las exportaciones, generar empleo y aumentar la recaudación fiscal. Sin embargo, para poder llevar a cabo este potencial, es importante que los países productores implementen estrategias que maximicen los beneficios económicos y minimicen los impactos ambientales y sociales.

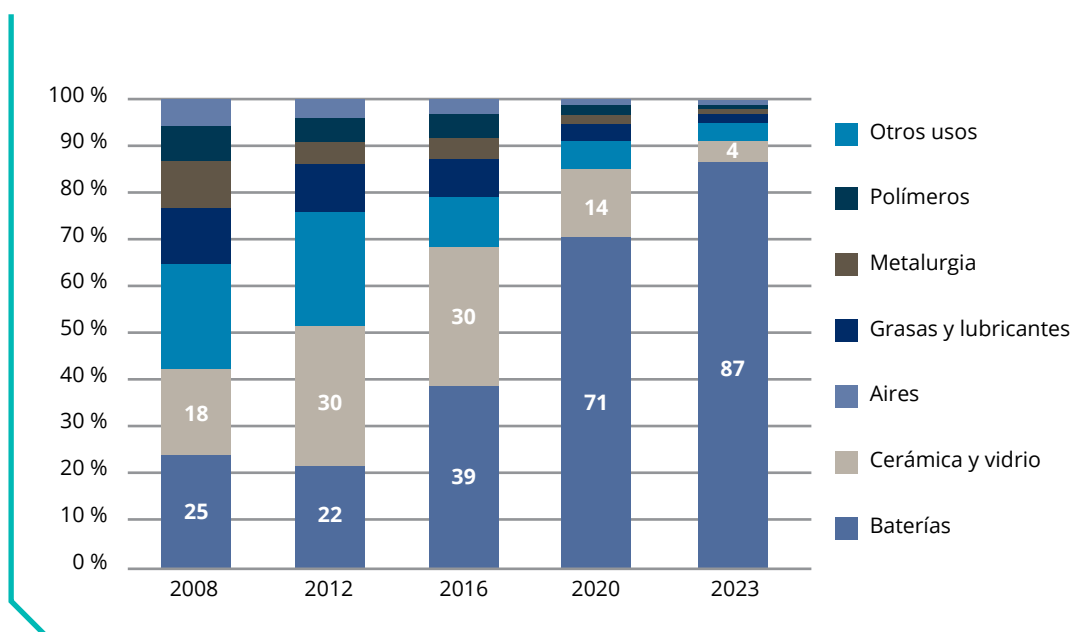
Los desafíos son significativos e incluyen la volatilidad de la demanda global, los avances tecnológicos que podrían desplazar al litio y la necesidad de establecer prácticas sostenibles en la gestión de residuos y el reciclaje. Esta monografía analiza la situación actual del mercado global de la cadena de valor y la participación presente y futura de la región. Asimismo, busca proporcionar un conjunto de recomendaciones que guíen a los tomadores de decisiones en la formulación de políticas conducentes a mejorar el posicionamiento de la región en el mercado global del litio.

II. Impulsores globales de la industria del litio

A nivel mundial, se espera que la demanda de litio aumente significativamente debido a los cambios generados por el proceso de transición energética en curso. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), en un escenario de desarrollo sostenible alineado con los objetivos del Acuerdo de París, se prevé que el consumo de litio se multiplique por 42 entre el 2020 y 2040. Esto implica una demanda proyectada de 1.160 kt de litio para el año 2040, con aproximadamente el 92 % destinado a vehículos eléctricos y al almacenamiento de energía (IEA, 2021a y 2021b).

El mercado del litio se ve impulsado principalmente por la creciente demanda de fabricación de baterías de iones de litio para vehículos eléctricos y productos electrónicos portátiles. Este mercado atiende las necesidades de países como China, Japón y la República de Corea, que son los principales fabricantes mundiales de baterías de iones de litio (Portal de Movilidad Latam, 2022). Otros usos del litio incluyen la fabricación de vidrios y cerámicas, la producción de grasas y lubricantes, la obtención de aleaciones de acero y aluminio, su uso como desecante en la industria de refrigeración, la elaboración de elastómeros y polímeros en la industria del plástico, y la producción de medicamentos.

FIGURA 1. Participación de los usos del litio a nivel mundial



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de USGS (Estadísticas e información de litio del National Minerals Information Center).

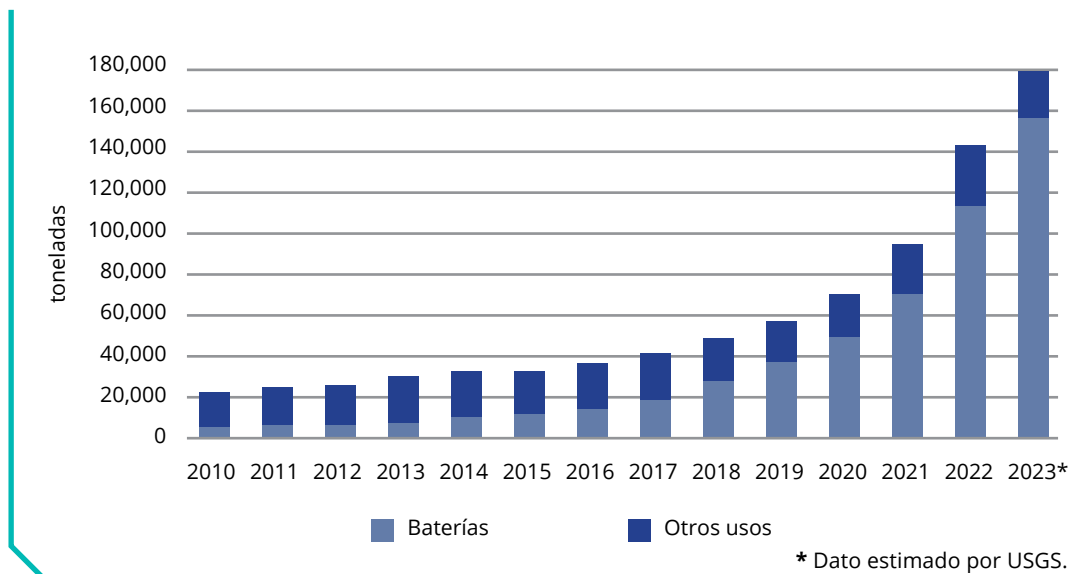
Desbloqueando el éxito de América Latina en la industria del litio

Análisis de la cadena de valor, desarrollo regional y políticas públicas

En el ámbito de la industria de las baterías, el litio se utiliza tanto en la producción de baterías no recargables como en las recargables, específicamente de ion-litio. Estas baterías tienen aplicaciones, que van desde suministrar energía a dispositivos electrónicos como herramientas inalámbricas, computadoras portátiles, teléfonos inteligentes, la propulsión de vehículos eléctricos, hasta el almacenamiento de energía en el subsector eléctrico.

El crecimiento de la participación del uso del litio en la producción de baterías se debe principalmente a su creciente demanda para la propulsión de vehículos eléctricos. Tan solo entre 2010 y 2022, el consumo mundial de litio para la producción de baterías experimentó un incremento cercano al 2,000 %, alcanzando las 113,600 toneladas en 2022. Por otro lado, la demanda de litio para otros usos tradicionales aumentó un 64 % durante el mismo período, con un total de 28,400 toneladas en 2022.

FIGURA 2. Consumo de litio para la producción de baterías y otros usos tradicionales



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de USGS (Estadísticas e información de litio del National Minerals Information Center).

En el ámbito del desarrollo tecnológico de las baterías, el despliegue de nuevas alternativas podría modificar la demanda de litio, como es el caso de las baterías de iones de sodio (Na-ion), iones de zinc (Zn-ion) y vanadio. Las baterías Na-ion presentan la ventaja de utilizar materiales de menor costo en comparación con las baterías de iones de litio, lo que se traduce en baterías más económicas y elimina por completo la necesidad de minerales críticos. Actualmente, las baterías de iones de sodio son la única alternativa viable que no requiere litio. Según estimaciones, la batería de iones

de sodio desarrollada por CATL (Contemporary Ampere Technology) en China, es un 30 % más económica que una batería fabricada a partir de fosfato de hierro y litio (IEA, 2023a).

En 2023, una marca de vehículos eléctricos respaldada por un importante consorcio automovilístico europeo presentó el primer automóvil eléctrico impulsado por baterías de iones de sodio. Además, otra marca de automóviles también planea utilizar estas baterías en sus vehículos eléctricos. Una destacada empresa china, fabricante de automóviles y proveedor de baterías, inició en 2024 la construcción de una fábrica de baterías de iones de sodio con una capacidad de 30 GWh anuales, destinadas principalmente a dispositivos de micromovilidad (Johnson, 2024). Estudios de mercado prevén que el sector de baterías de sodio incrementará un 11.8 % anual en el periodo 2023-2030, sumando una capacidad instalada de más de 100 GWh/año. En un escenario de cero emisiones, se espera que para 2030 la participación de las baterías de sodio en el mercado de vehículos eléctricos livianos alcance entre el 5 % y el 10 % (IEA, 2023b).

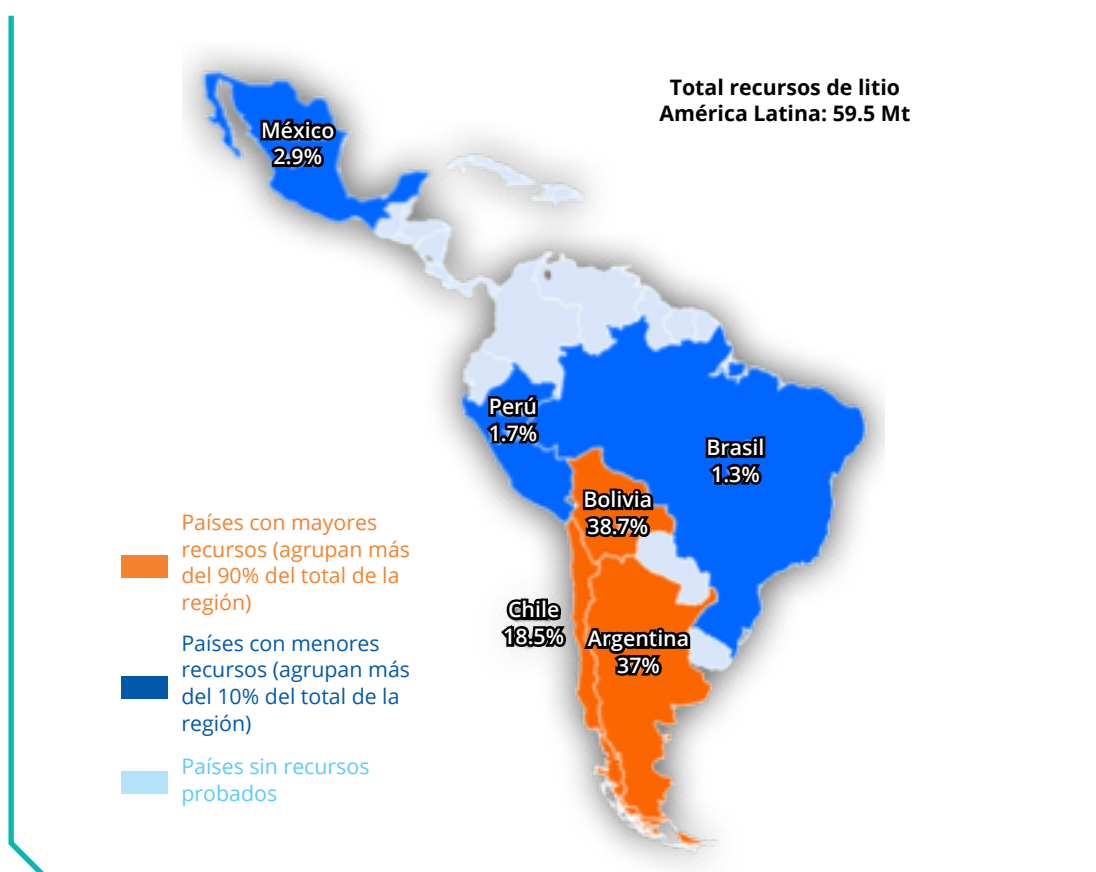
Por su parte, las baterías de Zinc-ion están ganando atención en diversas aplicaciones que requieren alta capacidad de almacenamiento de energía, tales como electrónica portátil, vehículos eléctricos y almacenamiento de energía renovable. Estas baterías ofrecen ventajas significativas, como un bajo impacto ambiental, mayor seguridad en comparación con las baterías de iones de litio y rentabilidad debido a la abundancia de zinc (Li & Wang, 2022). Se espera que para el año 2030 el consumo de zinc para aplicaciones de almacenamiento de energía alcance las 300 kt (IZA, 2024).

Finalmente, se tienen las baterías de flujo redox de vanadio (VRFB, por sus siglas en inglés) que actualmente se utilizan en aplicaciones de nivelación de carga, la reducción de picos y el almacenamiento de energía renovable (Skylas & Menictas, 2022). Las VRFB tienen la ventaja de poseer una vida útil larga, con hasta 20,000 ciclos de carga y descarga, un costo nivelado de energía reducido y sin problemas de sobrecarga o descarga profunda (González et al., 2023). Se estima que una comercialización temprana de esta tecnología de almacenamiento resultará en una demanda de vanadio 2.5 veces mayor en 2030 en comparación con 2020 (7.6 kt), y 29 veces más alta en 2040 (IEA, 2021c).

III. Latinoamérica en los recursos y reservas globales de litio

En 2023, los recursos de litio¹ a nivel global alcanzaron 105 millones de toneladas (Mt). De este total, la región de América Latina (AL) contribuyó con el 56.6 %, equivalente a 59.5 millones de toneladas (USGS, 2024). Bolivia se destaca como el país con los mayores recursos de litio, aportando el 38.7 % (23 Mt) del total regional. Le siguen Argentina con 22 Mt (37%) y Chile con 11 Mt (18.5%). La figura a continuación muestra la distribución de los recursos de litio en la región.

FIGURA 3. Distribución de los recursos de litio en América Latina



Fuente: Elaboración propia basándose en datos de la USGS (2024). Mineral Commodity Summaries 2024.

¹ Los recursos abarcan todo el litio que, sobre la base de estudios se conoce existe en depósitos geológicos, sin considerar las limitaciones económicas o tecnológicas para su extracción.

La figura anterior muestra que el 94 % de los recursos de litio de la región se concentran en Argentina, Bolivia y Chile, conformando lo que se conoce como el “triángulo del litio”. Este triángulo se extiende a lo largo del altiplano andino desde el suroeste de Bolivia hasta el norte de Argentina y Chile (García et al., 2013). El 5.9 % restante de los recursos de litio de la región se localizan en México, Perú y Brasil.

FIGURA 4. El triángulo del Litio



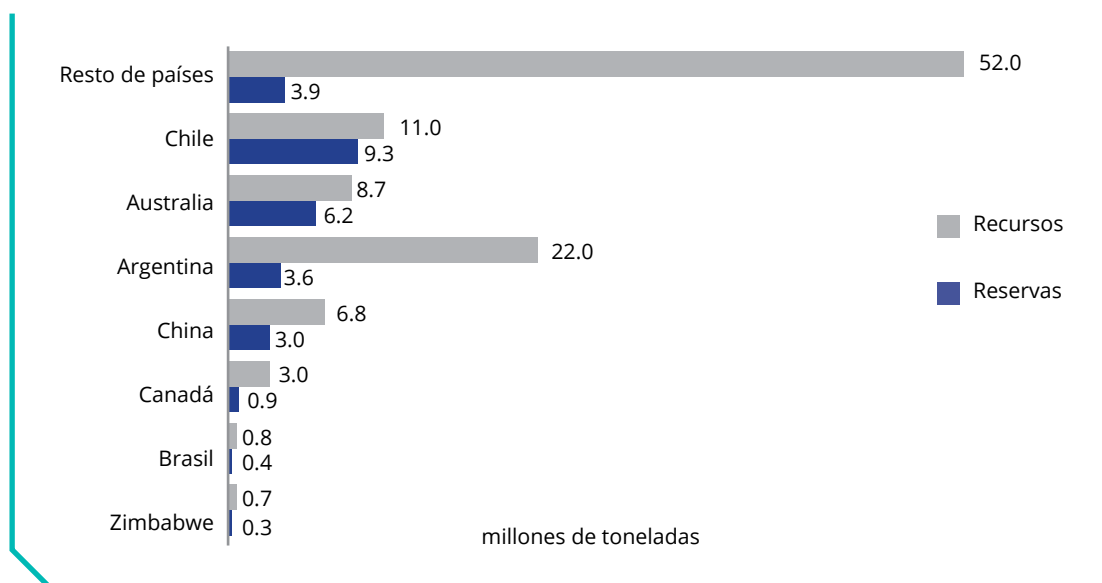
Fuente: Elaboración propia. Imagen referencial.

Es importante destacar que las reservas de litio², alcanzaron a nivel global un total de 28 Mt al año 2023. De esta suma, los países de la región concentran el 48.1 % (13.3 Mt). Chile lidera tanto a nivel regional como mundial con las mayores reservas de litio (9.3 Mt), mientras que Argentina se posiciona en el segundo lugar regional y en el tercer lugar mundial con 3.6 Mt de reservas probadas (USGS, 2024). A diferencia de Chile y Argentina, Bolivia aún no ha establecido el potencial comercial de sus depósitos de litio, por lo que no cuenta con reservas probadas en este momento. Las principales reservas de Chile se ubican en la región de Antofagasta, específicamente

² Las reservas refieren a la porción de los recursos de litio que ha sido evaluada con suficiente detalle geológico y económico para ser considerada viable para la extracción con la tecnología y costos actuales

en el Salar de Atacama y Salar del Carmen. En Argentina, las reservas se localizan en la provincia de Jujuy (Salar de Olaroz, Salar de Cauchari), provincia de Salta (Salar Rincón, Salar los Pozuelos, Salinas Grandes, Salar el Cementerio, Salar de Ratones) y provincia de Catamarca (Salar de Hombre Muerto, Salar Antofalla) (Gozalvez et al., 2021; Mosquera et al., 2022). La siguiente figura contrasta los recursos y reservas de litio de países del mundo y la región de América Latina.

FIGURA 5. Recursos y reservas de litio



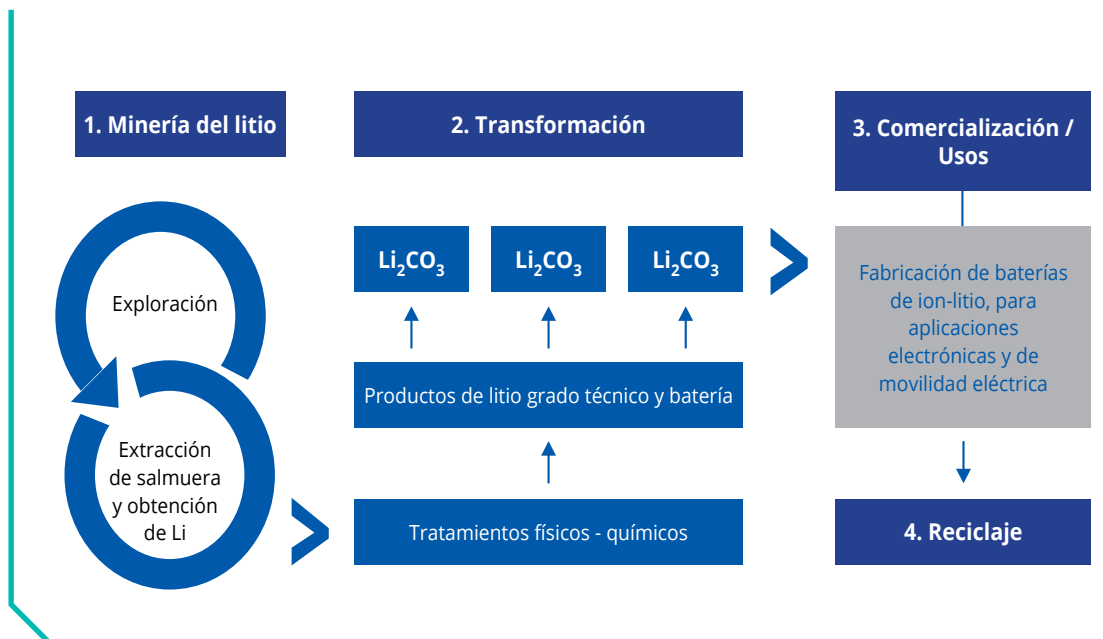
Fuente: Elaboración propia basándose en datos de la USGS (2024). Mineral Commodity Summaries 2024. Lithium.

IV. Cadena de valor regional

La cadena de valor del litio en América Latina comienza por la minería del mineral de litio que se compone por dos etapas principales: la exploración y la extracción de salmuera. La exploración es el primer paso, donde se estiman las reservas de litio mediante estudios especializados. El proceso de extracción consiste en el bombeo de salmuera que luego se deposita en piscinas, donde atraviesa un proceso de evaporación natural para obtener una alta concentración de litio (Calvo, 2017).

Una vez obtenido el concentrado de litio, las etapas que siguen en la cadena de valor son la transformación de la materia prima, comercialización, usos y reciclaje. La figura siguiente ilustra toda la cadena.

FIGURA 6. Cadena de valor del litio en AL



Fuente: Elaboración propia con base en Ministerio de Desarrollo Productivo (2021). Informe litio, octubre de 2021.

De acuerdo con la figura anterior, la cadena de valor del litio tiene cuatro etapas bien diferenciadas. De ellas, la región de América Latina participa principalmente en la minería. Las etapas de transformación del litio y su comercialización final son incipientes y se caracterizan por conformarse por una cantidad limitada de actores e infraestructura. A continuación, se describe la infraestructura instalada en la región asociada a cada una de estas etapas.

4.1 Capacidad instalada

La capacidad instalada de infraestructura para la producción de litio en AL refleja tanto el potencial como los desafíos de la región en este sector. A continuación, se representa el estado actual de la producción de litio, destacando las operaciones de las principales empresas e indicando las situaciones de alta concentración de mercado y la colaboración público-privada.

En el conocido triángulo del litio, operan cuatro empresas principales. En Chile, la producción comenzó en 1984 con la Sociedad Chilena del Litio, ahora Albemarle, en asociación con Corfo, seguida por SQM en 1996. Conjuntamente, Albemarle y SQM alcanzan una capacidad superior a 300,000 toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE, por sus siglas en inglés) al año. Se anticipa la entrada de dos nuevos proyectos en 2024, que añadirán una capacidad combinada de 35,000 toneladas de LCE/año. En Argentina, la producción se inició en 1997, destacando la reciente fusión de Livent y Allkem para formar Arcadium Lithium, lo que resulta en una capacidad de aproximadamente 52,000 toneladas de LCE/año. Bolivia, por otro lado, está en una fase inicial, con una planta en el Salar de Uyuni que posee una capacidad de 15,000 toneladas de LCE/año, con planes de expansión significativa. La siguiente tabla presenta una descripción resumida de las empresas que actualmente realizan actividades de producción comercial en los países del triángulo del litio.

TABLA 1. Empresas productoras en el triángulo del litio

PAÍS	EMPRESAS	OPERACIÓN	LOCALIZACIÓN	CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN (T LCE/AÑO)	TIPO DE PRODUCTO
Chile	SQM	Salar de Atacama	Región de Antofagasta	70.000	Carbonato de litio Hidróxido de litio
	SQM	Salar del Carmen		180.000	
	Albemarle	Salar de Atacama		85.000	
Argentina	Arcadium Lithium (Fusión entre Livent y Allkem)	Salar de Hombre Muerto Salar de Olaroz	Provincias de: Catamarca y Jujuy	52.000	Carbonato de litio Cloruro de litio
Bolivia	YLB	Salar de Uyuni	Dpto. De Potosí	15.000	Carbonato de litio

Fuente: Elaboración propia basándose en: Cochilco (2022). Inversión en la minería chilena, Allkem (2024), Olaroz; Arcadium (2024). Arcadium Lithium (2024).

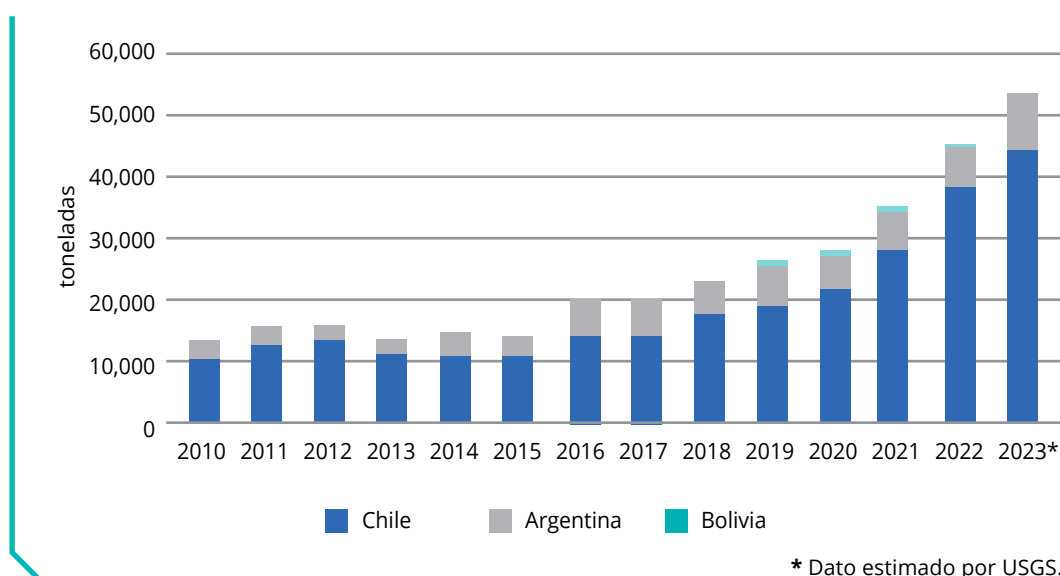
En la tabla anterior se observa la limitada capacidad instalada en la región en comparación con su nivel de reservas y creciente demanda global de litio. La presencia de pocas empresas con participación pública-privada y la concentración de mercado en unas pocas manos representan desafíos clave. Esta situación limita la diversificación y la capacidad de respuesta rápida a los cambios del mercado. En este sentido, es necesario acelerar la entrada en funcionamiento de nuevos proyectos para aumentar la capacidad instalada y fomentar la competencia entre las empresas.

La expansión de la capacidad instalada es fundamental no solo para satisfacer la demanda mundial, sino también para asegurar que América Latina capitalice su posición como líder en la producción de litio.

4.2 Producción regional

La producción de litio en la región ha mostrado un notable crecimiento en los últimos años, destacándose principalmente Chile y Argentina. Este aumento se vincula con los avances tecnológicos y las inversiones en métodos de extracción y procesamiento más eficientes. En particular, ambos países han adoptado tecnologías de extracción de salmuera que permiten una explotación más rápida y con menor impacto ambiental, lo cual ha facilitado la aprobación de permisos para nuevas operaciones mineras. La figura a continuación muestra la evolución de la producción de la región.

FIGURA 7. Producción minera de litio en los países del triángulo (2010- 2023)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de USGS (2024) y Memoria Institucional YLB (2021).

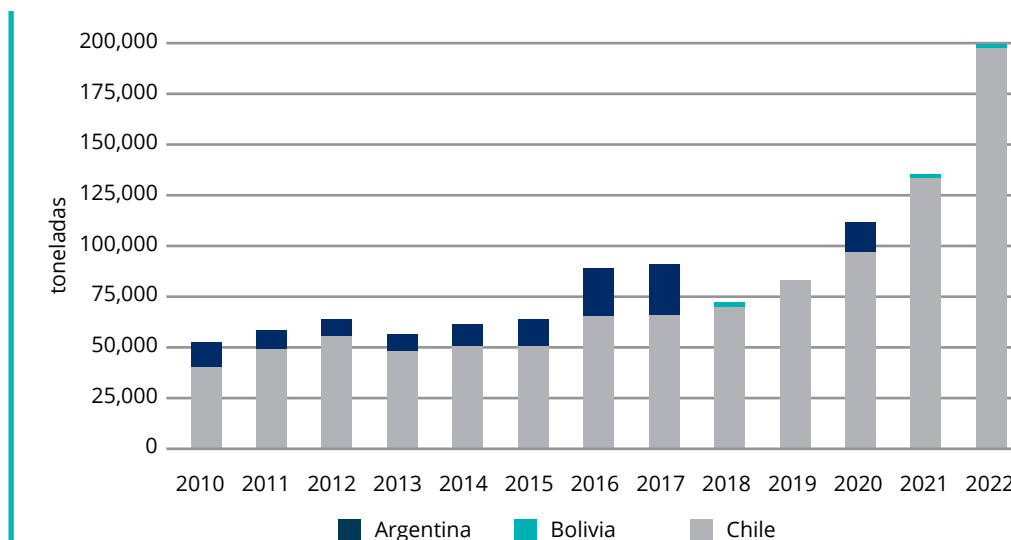
Entre 2010 y 2022, la producción minera de litio en los países del triángulo aumentó un 236 %, pasando de 13,460 t en 2010 a 45,190 t en 2022. Este crecimiento fue impulsado principalmente por Chile, que experimentó un incremento sostenido a partir de 2015. En ese momento, el gobierno chileno anunció una licitación para la producción y extracción de 400,000 t de litio, destinado únicamente a la venta como materia prima (carbonato de litio e hidróxido de litio) mediante contratos especiales de operación con empresas privadas nacionales o extranjeras hasta el año 2050 (Gutiérrez, 2021). En 2022, Chile representó el 84 % de la producción total con 38,000 t, seguido por Argentina con el 15 % (6,590 t) y Bolivia con el 1 % restante (600 t). La producción de litio en Bolivia se encuentra en fase piloto, con un promedio anual de producción cercano a las 420 t.

4.3 Exportación de litio

La mayor parte del litio producido en la región se exporta a destinos como China, Estados Unidos y Europa, donde dirige principalmente a la fabricación de baterías de alta tecnología. En particular, Chile y Argentina han establecido fuertes lazos comerciales con China, el mayor importador mundial de litio, que ha invertido en la minería de litio en la región. Otros países compradores del litio de estos países incluyen Japón, Corea del Sur, Canadá, Bélgica y México.

En la región, el litio se exporta tanto en forma de carbonato como de hidróxido. Entre 2010 y 2022, la exportación de carbonato de litio en los países del triángulo creció un 282 %, alcanzando un total de 199,240 t en 2022. De esta cifra, Chile representó el 99.7 %. La siguiente figura detalla el volumen de exportación de carbonato de litio durante este período.

FIGURA 8. Exportación de carbonato de litio países del triángulo (2010-2022)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos de Comtrade de la ONU (2024), datos comerciales.

Argentina mantuvo exportaciones constantes hasta 2017, pero posteriormente percibió fluctuaciones debido a una serie de factores, posiblemente vinculados a cambios en las políticas gubernamentales y las condiciones del mercado. Por su parte, Bolivia realizó su primera exportación a escala industrial en 2021, enviando 10,090 t de litio a China, Rusia y Emiratos Árabes (OEC, 2021).

V. Desafíos

América Latina está presionada para consolidar su industria del litio en el corto plazo si quiere mejorar su posición en el mercado global. El desarrollo de la industria del litio en la región enfrenta desafíos que incluyen desde el riesgo que el litio sea desplazado por otros materiales, hasta las condiciones que obstaculizan la expansión de la industria del litio y capacidad de la región para satisfacer la creciente demanda global. Las debilidades en el marco habilitante actual, particularmente en las condiciones para brindar seguridad jurídica y reglas de participación en el sector crean un ambiente de incertidumbre para atraer nuevas inversiones a pesar de las vastas reservas de los países. Además, las comunidades y actores locales perciben a la industria del litio como un agente de alto consumo de agua, un recurso de por sí escaso en zonas donde se encuentran importantes yacimientos de litio, que a menudo coexisten con comunidades afectadas por la sequía. Esta situación complica la tramitación de permisos que, unida a las exigencias de salvaguardas ambientales y sociales, que, si bien son obligatorias, en ocasiones resultan en un exceso de regulaciones que traen barreras adicionales para el desarrollo de la infraestructura. A continuación, se describen los principales desafíos observados:

5.1 **Desafío 1:** **La competencia que representan los avances tecnológicos**

El litio enfrenta una competencia creciente debido a los avances tecnológicos que podrían desplazarlo como el material preferente para baterías. Estos desarrollos incluyen baterías de estado sólido, supercondensadores y nuevas químicas de baterías que utilizan materiales más abundantes y menos problemáticos desde el punto de vista ambiental.

Las baterías de estado sólido están transformando el panorama de las tecnologías de almacenamiento de energía, reemplazando el electrolito líquido con uno sólido para mejorar la seguridad y la densidad energética (Takada, 2018). Varias empresas líderes en el sector están desarrollando estas tecnologías más eficientes. Entre los electrolitos sólidos que podrían disminuir la demanda de litio se encuentran el conductor superiónico de sodio (NaSICOM) y los electrolitos de sulfuro (Machín et al., 2024).

Además, los supercondensadores que ofrecen una carga y descarga rápidas (El-Kady et al., 2016), están siendo explorados para su potencial

en almacenamiento de energía a largo plazo, lo que podría expandir sus aplicaciones más allá de las ráfagas cortas de energía. En el mercado ya existe la oferta de células y módulos de supercondensadores que encuentran aplicaciones en electrónica, electromovilidad y energías renovables³. Por otra parte, existen empresas que han centrado sus investigaciones en la tecnología de supercondensadores y admiten que la hibridación de sistemas impulsados por iones de litio y supercondensadores podría alargar la vida útil de las baterías. La empresa elaboró estudios con un sistema híbrido de baterías de litio y supercondensadores en un camión minero, demostrando una extensión de la vida útil de la batería en más del 20 % en comparación con una batería independiente, a un costo de sistema competitivo⁴.

Por último, se están investigando nuevas químicas de baterías que utilizan materiales más comunes, como el sodio o el zinc. Las baterías de sodio-ion pueden ser una alternativa más barata y sostenible que podría reducir la demanda de litio (Wan et al., 2018). Por otro lado, el grafeno, conocido por su alta conductividad y ligereza (Cao et al., 2019), está aún en las etapas de investigación, pero tiene el potencial de revolucionar la fabricación de baterías de vehículos eléctricos si se logran disminuir sus costos. Se ha demostrado que el grafeno mejora la capacidad de tasa y el rendimiento, y reduce los efectos de apagado en las baterías de iones de litio y puede usarse también para baterías de sodio-ion. En el futuro, estas mejoras podrían llevar a baterías con un rendimiento significativamente mejorado, lo que representaría un avance innovador en el desempeño de las baterías (Joy et al., 2021).

5.2 **Desafío 2:** **Inversiones de largo plazo con retorno** **insuficiente**

En América Latina, los proyectos de gran envergadura para la extracción y tratamiento del litio enfrentan dificultades para alcanzar los niveles de retorno de inversión debido a la incertidumbre sobre la escalabilidad y los tiempos de aprobación de permisos y seguridad jurídica de las inversiones. La necesidad de altas inversiones iniciales en infraestructura que va a operar un marco regulatorio que a menudo es percibido como débil y con una alta exposición a posibles conflictos con las comunidades hacen que estos proyectos sean menos atractivos frente a otros menos intensivos en capital.

3 <https://maxwell.com/products/ultracapacitors/>

4 <https://www.skeletontech.com/skeleton-blog/rd-project-uncovers-innovative-win-win-combinations-of-lithium-ion-batteries-and-supercapacitors>

La volatilidad en los precios del litio agrega otra capa de complejidad a los proyectos de extracción en América Latina. A pesar de la tendencia al alza en los precios, las fluctuaciones pueden comprometer la viabilidad financiera a largo plazo de estos proyectos. En este contexto, los gobiernos latinoamericanos con inestabilidad política y marcos regulatorios débiles enfrentan mayores desafíos para crear las condiciones de estabilidad y predictibilidad que atraigan nuevas inversiones.

Además, se suma el riesgo político, que puede adoptar diversas formas, desde cambios en las prioridades de las políticas de la minería del litio de los países productores hasta la nacionalización de activos de empresas productoras. Asimismo, el establecimiento de nuevos impuestos de explotación decretados por los gobiernos podría impactar la viabilidad económica de los proyectos mineros de litio y retrasar la toma de decisión de los inversionistas.

5.3 Desafío 3: **Obtención de permisos y aprobaciones impredecibles**

Los procesos burocráticos y la resistencia de grupos comunitarios retrasan en gran escala los proyectos, especialmente en el sector minero, donde obtener un permiso puede tardar hasta una década. Los marcos regulatorios en países como Argentina y Chile a menudo carecen de especificidades que se ajusten a las particularidades de la extracción de litio de salmueras, lo que agrega dificultad al proceso de aprobación de permisos. Las empresas enfrentan a un ambiente regulatorio engorroso y variable, con cambios frecuentes en las reglas y procedimientos que rigen la aprobación de proyectos. Esta incertidumbre regulatoria desalienta la inversión, ya que ellos se enfrentan a amenazas importantes sin garantías de un retorno de su capital adecuado a lo largo del tiempo. Esta situación reduce el valor y la viabilidad financiera de los proyectos, subrayando la necesidad de agilizar estos procesos.

Aunque existen regulaciones, es necesario fortalecer la gobernanza para mejorar su efectividad y hacerlas más comprensibles y predecibles en su interpretación e implementación. La gestión de permisos involucra múltiples interacciones con diversas entidades gubernamentales, cuyos requisitos suelen ser superpuestos o contradictorios. Esta estructura burocrática extiende los plazos para la obtención de permisos y eleva los costos operativos de los proyectos.

Las empresas deben asignar recursos considerables para manejar este sistema, incluida la contratación de asesores legales y consultores. Además, la inconsistencia en la aplicación de las normativas incrementa la vulnerabilidad a decisiones arbitrarias, comprometiendo la eficiencia y equidad en la administración de proyectos de explotación del litio.

5.4 Desafío 4: **Pocos incentivos para "comprar local"**

A la fecha, las políticas de la región no han logrado fomentar el desarrollo de capacidades locales. Aunque la extracción de litio representa un potencial económico considerable, la integración en la cadena de valor para la fabricación de productos intermedios o finales de baterías y otros derivados del litio aún está pendiente, lo que limita la capacidad de la región para posicionarse como un proveedor clave en tecnología. En consecuencia, la mayor parte del litio se exporta como materia prima sin procesar, lo que modera los beneficios económicos y el avance tecnológico local.

La región carece de un eslabón que conecte el uso de materias primas de litio con la fabricación de productos de valor agregado, como baterías y materiales para su producción. (López-Calva, 2022). Actualmente, se centra en la etapa inicial de la cadena de valor, sin embargo, se observan esfuerzos por consolidar la etapa intermedia, como muestra la Estrategia Nacional de Litio de Chile. Argentina, avanza con la primera planta de fabricación de baterías a escala comercial en la región a través de una asociación estratégica entre la empresa Y-Tecnología (Y-TEC), subsidiaria de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, S.A. (YPF), y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Por último, Bolivia desarrolla proyectos piloto para crear las capacidades para producir productos intermedios, como la planta de materiales catódicos y la planta piloto para producir celdas base de distintas tecnologías de baterías de ion-litio. Es importante destacar que la región aún depende de la importación de productos finales, enfrentando un déficit comercial significativo. La consolidación de la producción regional de baterías podría ayudar a equilibrar esta disparidad.

5.5 Desafío 5: Debilidades institucionales y en la creación de conocimiento técnico

El aumento de la capacidad de producción de litio y creación de cadena de valor de productos intermedios y finales demanda incrementar el desarrollo de investigación, desarrollo, innovación y formación de capacidades profesionales e institucionales.

Los recursos destinados a la investigación, desarrollo y proyectos demostrativos son insuficientes. Aunque en Argentina la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Agencia I+D+i) administra un fondo importante para el financiamiento de I+D+i, este aún es insuficiente para satisfacer las necesidades. En particular, la Agencia ha destinado el 49 % de sus fondos a proyectos relacionados con baterías y sus componentes, lo que muestra el interés por concentrarse en un área específica.

Además, la transición desde el laboratorio hasta la producción de tecnologías a escala industrial implica altos costos y riesgos. Las empresas que buscan comercializar nuevas tecnologías enfrentan dificultades de acceso a materiales, tecnología, mano de obra y equipo, para producir una serie de prototipos para pruebas y validación. Actualmente los países del triángulo del litio carecen de mecanismos que brinden una garantía de que estas compañías puedan recuperar estos costos si la nueva tecnología no cumple con los requisitos o no atrae suficientes clientes. En este trayecto los programas y *startups* pueden quedarse sin fondos y desaparecen antes de alcanzar la comercialización de nuevas tecnologías y conocimiento.

Otros segmentos como el reciclaje también requieren de un mayor esfuerzo para la creación de capacidades. El reciclaje de baterías en AL se encuentra en una etapa inicial. Los marcos normativos, así como las capacidades de infraestructura de gestión no han evolucionado al mismo ritmo que la cantidad de baterías que llegan al final de su vida útil. Pocos países de la región (Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica y México) cuentan en la actualidad con empresas que realicen la gestión *in situ* de las baterías. Actualmente, la infraestructura para el reciclaje en estos países se limita a las primeras etapas de tratamiento, generando un producto provisional que se exporta para su posterior tratamiento fuera de la región, lo que desplaza el potencial de recuperación de litio a otros países (López et al., 2024).

5.6 **Desafío 6:** **Dependencia de proveedores extranjeros para equipos clave**

La falta de proveedores locales de equipos para la fabricación de baterías coloca a la región en desventaja frente a competidores que tienen acceso a colaboraciones estrechas con fabricantes de maquinaria locales.

La región enfrenta una alta dependencia de proveedores extranjeros para equipos de extracción y procesamiento. Esta dependencia no solo limita la capacidad de control sobre la cadena de valor del litio, sino que también expone a los países de la región a vulnerabilidades en términos de suministro y costos. Al no contar con una producción local o regional de equipos esenciales como los utilizados en la extracción de salmuera, América Latina se ve obligada a importar dicha tecnología, lo que podría frenar el desarrollo del sector frente a restricciones de importación o aumentos en los precios internacionales. Este factor es un desafío predominante para la autonomía y el desarrollo tecnológico de la región en el ámbito del litio.

5.7 **Desafío 7:** **Salvaguardas ambientales y sociales**

En los marcos regulatorios de los países persisten debilidades para garantizar la preservación ambiental y propiciar buenas relaciones con las comunidades locales. Se observa que la adaptación de leyes de otras industrias mineras para establecer las reglas de la industria del litio trae ambigüedades en la interpretación del marco regulatorio, específicamente en relación con su impacto ambiental y relacionamiento con las comunidades.

En la dimensión social, en ocasiones la industria es percibida como un agente de territorialización y degradación ambiental. Por ejemplo, en las cuencas de los salares altoandinos se registran reclamos de las comunidades que indican que la explotación de los salares altera los ecosistemas y afecta el desarrollo agrícola y pastoril que han practicado durante generaciones. Esta situación ha dado lugar a reclamaciones colectivas, especialmente en el Salar de Atacama, que ha concentrado la minería de litio durante más de tres décadas (Lorca et al., 2023). En Argentina, en la cuenca de las Salinas Grandes y la Laguna de Guayatoyoc, 33 comunidades expresaron su oposición al ingreso de una empresa de litio en su territorio. Las comunidades demandaban una consulta previa mediante un mecanismo institucional elaborado por los propios

miembros de la comunidad para atender sus preocupaciones sobre i) los posibles impactos sociales y ambientales negativos que podrían surgir; ii) los modelos productivos locales y regionales y iii) la deficiencia institucional para garantizar las salvaguardas ambientales y sociales de los proyectos y contribuir con la reducción de la pobreza (Pragier, 2019).

Desde la dimensión ambiental, la extracción de litio trae riesgos ambientales en los humedales andinos producto de la posible sobreexplotación de acuíferos y la salinización de reservas de agua dulce. Por ejemplo, en el desierto de Atacama, el uso de técnicas de separación de minerales por evaporación del agua resulta en un alto consumo de agua que supera la oferta de los recursos disponibles. Es por ello que la escasez de agua ha provocado una reducción de la densidad de la vegetación y vida silvestre. Estudios de migración de aves en el Salar de Atacama indican una posible correlación entre las operaciones de extracción de litio con la reducción de la abundancia de dos de las tres especies de flamencos presentes en la zona (Gutiérrez et al., 2022).

VI. Áreas de oportunidad a incluir en políticas públicas

La identificación de las áreas de oportunidad para la elaboración de políticas públicas es esencial para propiciar el robustecimiento y la expansión de la participación de la región en la cadena de valor de los productos intermedios y finales del litio. Las iniciativas de política pueden estar dirigidas a las actividades que incluyen desde la exploración y extracción del litio hasta su transformación, usos, comercialización y reciclaje. A continuación, se describen las principales áreas de oportunidad.

6.1 Preservar posicionamiento del litio ante productos sustitutos

La creciente competencia de materiales alternativos en la fabricación de baterías plantea un desafío importante para el dominio del litio. Sin embargo, esta situación también presenta una oportunidad para fortalecer y diversificar su cadena de valor, asegurando que siga siendo competitivo frente a otras tecnologías emergentes. Optimizar la eficiencia de extracción y procesamiento del litio, mejorar la tecnología de reciclaje, y ampliar la investigación en nuevas aplicaciones pueden ayudar a mantener su posición como un material clave en la industria de baterías.

En este sentido, los formuladores de políticas pueden implementar medidas que fomenten la innovación y la eficiencia en la cadena de valor del litio. Esto incluye invertir en tecnología de extracción y procesamiento que reduzca los costos y aumente la pureza del litio, lo que a su vez podría mejorar el rendimiento de las baterías de litio-ion. Instaurar centros de investigación dedicados al desarrollo de tecnologías avanzadas de reciclaje y nuevas aplicaciones del litio puede asegurar que este material siga siendo relevante en la industria de las baterías.

Por último, los gobiernos pueden considerar la creación de incentivos para las empresas que invierten en la mejora de la infraestructura de reciclaje del litio y en la investigación de tecnologías que prolonguen la vida útil de las baterías de litio. Establecer estándares y regulaciones que obliguen a la integración de prácticas de economía circular en la producción de baterías también podría potenciar el uso sostenible del litio.

6.2 *Exploración y extracción*

6.2.1 *Desarrollo de tecnologías avanzadas para extracción del litio.*

El desarrollo de tecnologías avanzadas tiene el potencial de optimizar la eficiencia productiva y mitigar el impacto ambiental asociado con la extracción de litio mediante métodos evaporativos. Por tanto, la investigación y el desarrollo desempeñan un papel crucial. Para los países del triángulo, resulta fundamental acelerar los estudios de viabilidad de tecnologías como la extracción directa de litio (EDL) y la tecnología de electrodiálisis o electromembranas, las cuales pueden separar eficientemente el litio de la salmuera. Por ejemplo, la EDL elimina la necesidad de utilizar piscinas evaporativas y reduce la pérdida de agua a la atmósfera, al mismo tiempo que disminuye la extracción de agua de las salmueras (Cleantech Lithium, 2022). Además, la EDL favorece la obtención de materia prima en un período de tiempo más breve, lo que mejora la capacidad productiva. Otras tecnologías con procesos innovadores incluyen la recuperación de agua de las salmueras. Por ejemplo, el Advanced Mining Technology Center (AMTC, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Chile, ha desarrollado un nuevo método de destilación-cristalización por membranas que no solo concentra el litio a partir de salmueras hipersalinas, sino que también posibilita la recuperación del agua. Este proceso además de permitir recuperar entre el 25 % y el 39 % de agua de la salmuera, facilita la recuperación de subproductos como el cloruro de potasio, reduce el tiempo de procesamiento y utiliza energía solar para impulsar los procesos (Quilaqueo et al., 2022).

Para traducir las oportunidades tecnológicas en acciones concretas de política pública, los gobiernos deben establecer marcos regulatorios claros. En primer lugar, se recomienda formular políticas que incentiven la inversión en tecnologías emergentes, tales como la extracción directa de litio y los sistemas de electrodiálisis. Esto puede lograrse mediante programas de innovación, proyectos piloto y apoyo financiero para la investigación y el desarrollo, así como mediante la reducción de barreras burocráticas para la puesta en marcha de nuevas instalaciones tecnológicas. Por otra parte, los formuladores de políticas pueden avanzar en la creación de alianzas entre instituciones de investigación, universidades y empresas privadas. Estas colaboraciones permiten acelerar la transferencia de tecnologías probadas en laboratorios

al mercado y asegurar que los avances tecnológicos se apliquen de manera eficaz.

6.2.2 *Recuperación de coproductos.*

Algunos países y empresas deben considerar la viabilidad de recuperar y valorizar los coproductos presentes en los depósitos de litio, como potasio, boro y magnesio, entre otros. Empresas locales poseen la capacidad para procesar los residuos secundarios de salares con alta concentración de estos minerales, como el Salar de Uyuni en Bolivia, que presenta un contenido significativo de magnesio. La posibilidad de aumentar su valor económico mediante la obtención de sulfato de potasio y sulfato de sodio añade un valor agregado. Por otro lado, Argentina y Chile tienen una mayor oportunidad para desarrollar la recuperación de coproductos, ya que sus salares cuentan con estudios y técnicos especializados en el procesamiento de los compuestos de sus minerales (López et al., 2019). En Chile, dos instalaciones mineras en el Salar de Atacama recuperan conjuntamente carbonato de litio y cloruro de potasio (Albemarle⁵ y SQM⁶).

Los gobiernos pueden crear incentivos económicos y regulaciones que fomenten la recuperación de coproductos en la extracción de litio. Específicamente, pueden plantear reducciones fiscales o créditos tributarios a empresas que adopten tecnologías avanzadas para la separación y purificación de minerales. Además, es importante establecer normas que exijan a las empresas mineras la maximización de la extracción de todos los recursos valiosos de los depósitos de litio, asegurando así una operación más sostenible. El cumplimiento de estas normas puede ser monitoreada mediante auditorías regulares para garantizar la eficacia de las tecnologías y métodos utilizados.

6.3 **Transformación de litio - Ampliación del rol de América Latina en la cadena de valor del litio**

En lugar de solo exportar litio en forma de materias primas, los países tienen la oportunidad de diversificar su oferta invirtiendo en el desarrollo de productos con un mayor valor agregado. Esto puede abarcar desde la fabricación de componentes como cátodos, ánodos y electrolitos, hasta la producción de

5 <https://www.albemarle.com/offering/lithium/products/pot-ash>

6 <https://www.sqm.com/en/acerca-de-sqm/recursos-naturales/proceso-de-produccion/>

baterías. Sin embargo, este enfoque requerirá el desarrollo de capacidades de procesamiento, inversiones en infraestructura, tecnología y el desarrollo de capital humano altamente especializado.

Chile, Argentina y Bolivia están convergiendo en una reinención de la relación entre la minería y el desarrollo, donde el litio, a través de la innovación y la industria, está redefiniendo la conexión entre las economías latinoamericanas y los mercados globales. Este cambio implica la transformación de materias primas en productos intermedios e industrias, impulsada por la ciencia y la tecnología (Barandiarán, 2019). No obstante, las estrategias de desarrollo del sector de estos tres países muestran diferencias significativas. Por ejemplo, Argentina asigna la responsabilidad del desarrollo productivo y tecnológico principalmente al sector privado. Por su parte, Bolivia se caracteriza por un enfoque centralizado donde el control del sector y las inversiones está en manos del Gobierno central, que busca implementar una estrategia autónoma para asegurar que la creación del valor agregado relacionado con el litio se quede en el territorio nacional. En el caso de Chile, se combinan elementos de ambos sistemas. La Estrategia Nacional del Litio del gobierno busca promover alianzas entre el Estado chileno y las empresas privadas, habiendo declarado el litio como un recurso estratégico (Obaya, 2022).

Aunque las estrategias adoptadas por Chile, Argentina y Bolivia para el desarrollo de la industria del litio difieren significativamente, existe un terreno común para fortalecer la posición de AL en la cadena de valor global de este recurso. Para lograr una mayor participación de la región en esta industria, los tres países pueden armonizar sus enfoques de investigación y desarrollo, políticas de inversión y regulaciones ambientales y sociales. En particular, se pueden implementar políticas de estímulo directo a las inversiones dirigidas a la fabricación de componentes de baterías de litio y ensamblajes finales. Esto incluye brindar exenciones fiscales y subsidios a la investigación, además de facilitar financiamiento accesible para empresas emergentes y establecidas. En paralelo, es importante crear acuerdos bilaterales y multilaterales para promover la transferencia tecnológica y de conocimiento, facilitando el intercambio de mejores prácticas entre países y articulando el trabajo coordinado con la academia y el sector empresarial. Por último, es necesario adoptar regulaciones que protejan la propiedad intelectual y definan estándares de calidad para los productos.

Una estrategia regional exitosa tendrá que aprovechar la complementariedad de los modelos: el enfoque privado de Argentina podría atraer inversiones y fomentar la innovación, la visión estatal de Bolivia podría garantizar que los beneficios económicos se redistribuyan equitativamente, y el modelo mixto de

Chile podría servir como un puente entre estos dos enfoques. Estableciendo objetivos comunes y respetando las particularidades de cada país, AL podría no solo mejorar su posición en la cadena de valor del litio, sino también establecer un precedente de cooperación regional que maximice los beneficios económicos y sociales para toda la región.

6.4 Comercialización y usos

6.4.1 *Apertura del mercado regional y posicionamiento global.*

La región latinoamericana cuenta con una amplia ventana de oportunidad para consolidar su posición en el mercado del litio durante las próximas décadas. Esta industria ofrece oportunidades para diversificar la estructura productiva mediante la creación de redes de proveedores locales y la promoción de la integración regional. En este sentido, la coordinación con otros países latinoamericanos, como Brasil o México, es esencial para explorar cadenas de suministro regionales en sectores como el ensamblaje de vehículos eléctricos, aprovechando las cadenas de valor existentes en esos países (Sánchez, et al., 2023).

Para que la región materialice las oportunidades en el mercado global del litio, los gobiernos deben adoptar un enfoque proactivo y bien estructurado en la formulación de sus políticas públicas.

En primer lugar, es fundamental desarrollar una política clara de inversión en infraestructura específica y tecnología que permita la extracción, procesamiento y transformación eficiente del litio en productos intermedios y finales. Esto incluye la creación de incentivos fiscales y financieros para atraer inversiones tanto nacionales como internacionales.

En segundo lugar, los gobiernos deben fomentar la formación de consorcios regionales que involucren a actores relevantes del sector privado, instituciones académicas y socios internacionales. Estos consorcios pueden favorecer e impulsar el desarrollo de tecnologías innovadoras y la expansión de capacidades industriales locales, asegurando que la cadena de valor del litio se desarrolle de manera integral y competitiva.

Un tercer elemento relevante es establecer marcos regulatorios que garanticen la sostenibilidad ambiental y social de las operaciones

del litio. Estos marcos deben incluir regulaciones sobre el uso del agua, la gestión de residuos y el impacto en las comunidades locales, asegurando que las prácticas industriales sean responsables y sostenibles a largo plazo.

Por último, la colaboración internacional debe ser una prioridad. Los gobiernos pueden buscar activamente acuerdos bilaterales y multilaterales que promuevan el comercio, la transferencia de tecnología y la cooperación en investigación y desarrollo. Esto no solo ampliará el acceso a mercados globales, sino que también fortalecerá las posiciones negociadoras de los países.

6.4.2 *Mejorar la eficiencia de la logística de transporte.*

La optimización de la logística de transporte del litio es relevante para materializar el aumento de la demanda del litio y productos intermedios y terminados. Con el mejoramiento de la infraestructura y regulaciones logísticas, la región puede aumentar su capacidad de exportación y fortalecer su competitividad en el mercado global, mejorando su posicionamiento como un proveedor en la cadena de valor del litio.

Para mejorar la eficiencia en la logística del transporte del litio, los tomadores de decisión pueden priorizar la estandarización de prácticas de seguridad para el transporte del litio. Estos estándares permiten garantizar que los operadores cumplan con protocolos para su manejo, transporte, y almacenamiento, lo cual incluye la certificación de sus profesionales y la adopción de sistemas de monitoreo y control (Litio Argentina, 2024).

De igual manera es relevante incrementar la infraestructura logística para conectar los sitios de producción con los mercados. Esto implica no solo mejorar carreteras y puertos, sino también expandir y modernizar las redes ferroviarias, que representan una opción menos contaminante y competitiva para el transporte de grandes volúmenes de litio. Según López (2022), el transporte ferroviario puede reducir las emisiones de CO₂ en un 80 % comparado con el transporte por camión.

Finalmente, la integración de modos de transporte y la colaboración entre el sector público y privado son esenciales para fortalecer la

cadena logística. Implementar incentivos fiscales y subvenciones para empresas que inviertan en la renovación de flotas puede acelerar la adopción de soluciones más eficientes y ecológicas, fortaleciendo la posición de la región para cumplir con nuevos requerimientos para reducir la huella de carbono de las importaciones, como, por ejemplo, el Mecanismo de Ajuste de las Emisiones de Carbono de la Unión Europea.

6.5 Economía circular

El crecimiento del mercado de vehículos eléctricos y la potencial participación de la región en la producción de productos intermedios brinda una oportunidad para la creación de nuevos mercados para darle una segunda vida a las baterías de iones de litio y reutilización de una parte de sus componentes. La economía circular incluye la prolongación de la vida útil de los productos, su reutilización, reparación y reciclaje, así como la recuperación de materiales. En este contexto, las baterías pueden ser reutilizadas en otras aplicaciones, como almacenamiento de energía renovable, antes de ser recicladas.

Por medio de la reutilización y reciclaje de componentes de baterías, se puede disminuir los costos de fabricación de nuevos productos, generar ingresos adicionales y traer beneficios fiscales, mejorando al mismo tiempo la competitividad de las empresas (Curtis et al., 2021). Bajo la integración de estas tecnologías en la economía regional, se puede contribuir significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, alineándose así con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para aprovechar esta oportunidad, los tomadores de decisión deben establecer políticas que promuevan el desarrollo de tecnologías de reciclaje y la construcción de instalaciones especializadas para el procesamiento de baterías usadas. Es imprescindible que estas políticas incluyan regulaciones que obliguen a los fabricantes a diseñar baterías con una mayor capacidad de desmontaje, reutilización y reciclaje, y que establezcan estándares para el manejo seguro de materiales reciclables. Asimismo, los gobiernos pueden crear incentivos para que las empresas inviertan en tecnologías de reciclaje y fomentar la formación de un mercado competitivo para los materiales recuperados. Las señales de precios para la comercialización de estos materiales son esenciales para garantizar la sostenibilidad del mercado a largo plazo.

VII. Principios orientadores de estrategias y políticas públicas

Frente al previsto déficit mundial de minerales y materiales energéticos críticos, las empresas de AL respaldadas por alianzas público – privadas, están en una posición competitiva superior a sus contrapartes internacionales al asegurar estos recursos. No obstante, la región enfrenta un momento crítico en el desarrollo de su industria del litio, donde las barreras identificadas requieren de políticas públicas eficaces y adaptadas a las realidades socioeconómicas y ambientales de cada país. Los principios orientadores propuestos buscan responder a los desafíos específicos que limitan el desarrollo sostenible del sector y maximizar las oportunidades que este mineral crítico presenta para los países de la región.

7.1 Fomento de la seguridad jurídica y regulatoria

La incertidumbre legal y la falta de claridad en los marcos regulatorios desalientan la inversión, tanto nacional como extranjera. Es imprescindible establecer un entorno jurídico claro y estable que proteja las inversiones y ofrezca certezas a los inversores. Se requiere reformular y crear nuevas regulaciones que aborden específicamente las necesidades y características de la industria del litio, diferenciándolas de otros sectores mineros, como el del cobre. Esto implica aclarar ambigüedades en legislaciones que pueden traer riesgos para los potenciales inversionistas. Además, es recomendable incluir mecanismos regulatorios adaptativos que no limiten el desarrollo de proyectos como resultado de regulaciones excesivamente restrictivas.

7.2 Desarrollo y adopción de tecnologías innovadoras

Considerando la alta demanda de agua para la extracción de litio, los costos de extracción y los impactos ambientales asociados, es importante promover la adopción de tecnologías que minimicen el uso y el impacto en los recursos hídricos, y que preserven la competitividad de la industria en el mercado del litio. Aquellas tecnologías innovadoras que permitan reutilizar el agua extraída de las salmueras o minimizar su evaporación, deben ser prioritarias. La promoción activa de I+D+i por parte de las empresas, no solo es delegada al Estado, también es relevante para el desarrollo de estas tecnologías.

7.3 Impulso al desarrollo de capacidades locales

La mayoría de los países productores de litio en la región exportan este mineral sin procesar, lo que restringe los beneficios económicos locales. En este sentido, es necesario implementar programas de capacitación local para crear una fuerza laboral calificada que pueda participar directamente en la industria, en lugar de depender de roles indirectos o servicios limitados prestados a la industria del litio. Esto implica promover la educación técnica y universitaria, así como la transferencia de conocimiento entre países por medio de alianzas entre gobiernos, universidades y la industria.

7.4 Integración de la industria del litio en las cadenas de valor regionales

La consolidación de una cadena de valor regional para el litio puede fortalecer la posición de América Latina en el mercado global. Para lograr esto, se requieren políticas que promuevan la integración económica regional, faciliten el comercio intrarregional de productos de litio y potencien la cooperación en investigación y desarrollo entre países. Una cadena de valor integrada mejoraría la resiliencia de la industria ante a las fluctuaciones del mercado global y fomentaría una mayor colaboración en la estandarización de normativas y prácticas comerciales.

7.5 Promoción del reciclaje y la economía circular

Dado el aumento previsto en la demanda de baterías de iones de litio y el impacto ambiental de la extracción de nuevos materiales, se hace necesario implementar políticas que fomenten la economía circular. Esto incluye el apoyo al desarrollo de tecnologías y procesos para el reciclaje de baterías, así como crear mercados para productos reciclados. La implementación de sistemas eficientes de recogida y reciclaje puede mitigar la dependencia de materias primas vírgenes y reducir el impacto ambiental de la industria. La creación de mercados para productos reciclados y la implementación de tecnologías que maximicen la recuperación de materiales son elementos clave para promover la economía circular.

7.6 Compromiso con la responsabilidad social y ambiental

La industria del litio debe operar de manera que garantice la sostenibilidad ambiental y fomente una relación positiva con las comunidades locales. Esto incluye cumplir con las más altas normas de protección ambiental e integrar consultas a las comunidades siguiendo procesos regulados que garanticen la materialización de un diálogo constructivo entre los actores relevantes. La transparencia en las operaciones y la inclusión de las comunidades en la planificación y los beneficios del desarrollo del litio pueden ser fundamentales para lograr y mantener la licencia social para operar.

VIII. Bibliografía

- Albemarle. (2024). Global Specialty Chemicals Company. Nuestra historia. Albemarle Chile. Recuperado el 1 de abril de 2024 de <https://www.albemarlelitio.cl/products/nuestra-historia>.
- Allkem. (2024). Allkem Olaroz. Allkem. Recuperado el 23 de febrero de 2024 de <https://www.allkem.co/projects/olaroz>.
- Arcadium. (2024). Arcadium Lithium: Global Operations. Recuperado el 23 de febrero de 2024 de <https://arcadiumlithium.com/quick-facts/>.
- Barandiarán, J. (2019). Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia. *World Development*, 113, 381-391. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.09.019>.
- Calvo, E. (2017). Procesos de extracción de litio de sus depósitos en salares argentinos. En: *Litio un Recurso natural estratégico desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas*. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ANCEFN). Argentina. https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/PUBLICACIONES/Recurso_Natural_Estrategico.pdf.
- Cao, M., and Xiong, D. (2019). Ultrahigh Electrical Conductivity of Graphene Embedded in Metals. *Advance Functional Materials*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adfm.201806792>.
- Castello, A., y Kloster, M. (2015). Industrialización del litio y agregado de valor local. Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI). http://www.ciecti.org.ar/wp-content/uploads/2015/10/Litio_DT_v9_final-web.pdf
- CEPAL (2023). Extracción e industrialización del litio. Oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/5c1c160a-557d-42d9-bfa8-929142d2fa21/content>.
- Cleantech Lithium. (2022). Extracción directa de litio. Recuperado 15 de mayo de 2024 de <https://ctlithium.com/es/about/direct-lithium-extraction/>.
- Cochilco (2022). Inversión en la minería chilena – Cartera de proyectos 2022-2031. Comisión Chilena del Cobre. Ministerio de Minería. <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Inversion%20en%20la%20mineria%20chilena%20-%20cartera%20de%20proyectos%202020-2029%20VF.pdf>.

- Curtis, T., Smith, L., Buchanan, H., & Heath, G. (2021). A Circular Economy for Lithium-Ion Batteries Used in Mobile and Stationary Energy Storage: Drivers, Barriers, Enablers, and U.S. Policy Considerations (NREL/TP--6A20-77035, 1768315, MainId:24998; p. NREL/TP--6A20-77035, 1768315, MainId:24998). <https://doi.org/10.2172/1768315>.
- Fang Wan, Linlin Zhang, Xi Dai, Xinyu Wang, Zhiqiang Niu & Jun Chen (2018). Aqueous rechargeable zinc/sodium vanadate batteries with enhanced performance from simultaneous insertion of dual carriers. Recuperado XX de mayo de 2024 de <https://www.nature.com/articles/s41467-018-04060-8>.
- González, J. M., Parrilla, Á. P., & Aguado, J. A. (2023). Chemical energy storage technologies. En J. García (Ed.), Encyclopedia of Electrical and Electronic Power Engineering (pp. 426-439). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821204-2.00100-8>.
- Gutiérrez, J. S., Moore, J. N., Donnelly, J. P., Dorador, C., Navedo, J. G., & Senner, N. R. (2022). Climate change and lithium mining influence flamingo abundance in the Lithium Triangle. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 289(1970), 20212388. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2388>.
- Heath, G. A., Ravikumar, D., Hansen, B., & Kupets, E. (2022). A critical review of the circular economy for lithium-ion batteries and photovoltaic modules – status, challenges, and opportunities. Journal of the Air & Waste Management Association, 72(6), 478-539. <https://doi.org/10.1080/10962247.2022.2068878>.
- IEA. (2021a). The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
- IEA. (2021b). Total lithium demand by sector and scenario, 2020-2040 – Charts – Data & Statistics. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-lithium-demand-by-sector-and-scenario-2020-2040>.
- IEA. (2021c). Mineral requirements for clean energy transitions. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. International Energy Agency. Recuperado el 10 de mayo de 2024 de <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/mineral-requirements-for-clean-energy-transitions>.
- IEA. (2023a). Trends in batteries – Global EV Outlook 2023 – Analysis. International Energy Agency (IEA). Recuperado XX de mayo de 2024 de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-batteries>.

- IEA. (2023b). Energy Technology Perspectives 2023. International Energy Agency. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a86b480e-2b03-4e25-bae1-da1395e0b620/EnergyTechnologyPerspectives2023.pdf>.
- IZA. (2024). Energy Storage ZINC. International Zinc Association. Recuperado el 10 de marzo de 2024 de <https://www.zinc.org/energy-storage/>.
- Jerez, B., Garcés, I., & Torres, R. (2021). Lithium extractivism and water injustices in the Salar de Atacama, Chile: The colonial shadow of green electromobility. *Political Geography*, 87, 102382. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382>.
- Johnson, P. (2024). BYD breaks ground on its first sodium-ion EV battery plant. *Electrek*. Recuperado XX de mayo de 2024 de <https://electrek.co/2024/01/05/byd-breaks-ground-first-sodium-ion-ev-battery-plant/>.
- Joy, R., Balakrishnan, N., Das, A. (2021) Graphene: Chemistry and Applications for Lithium-Ion Batteries. *Electrochem*, MDPI. <https://www.mdpi.com/2673-3293/3/1/10>.
- Kazunori Takada (2018). Progress in solid electrolytes toward realizing solid-state lithium batteries <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775318304646>.
- Li, W., & Wang, X. (2022). Chapter 24—Recent advances in metal-ion batteries with metal sulfide/selenide. En G. Dalapati, T. Shun Wong, S. Kundu, A. Chakraborty, & S. Zhuk (Eds.), *Sulfide and Selenide Based Materials for Emerging Applications* (pp. 645-678). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99860-4.00027-7>.
- Li-Bridge (2023). Building a Robust and Resilient U.S. Lithium Battery Supply Chain. <https://netl.doe.gov/sites/default/files/2023-03/Li-Bridge%20-%20Building%20a%20Robust%20and%20Resilient%20U.S.%20Lithium%20Battery%20Supply%20Chain.pdf>.
- Lithium Statistics and Information | U.S. Geological Survey. (s. f.). <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/lithium-statistics-and-information>.
- Litio Argentina. (2024). Cómo es la logística de un proyecto de litio. Litio Argentina. Recuperado XX de mayo de 2024 de <https://litioargentina.com/produccion/como-es-la-logistica-de-un-proyecto-de-litio/>.

- López, R., Alfaro, P., de la Paz, R., & Azócar, D. (2023). Litio: Una ventana de oportunidades. Revista Beauchef, Universidad de Chile. Recuperado el 02 de abril de 2024 de <https://ingenieria.uchile.cl/noticias/210777/litio-una-ventana-de-oportunidades>.
- López-Calva, L. (2022). Litio en América Latina: ¿Una nueva búsqueda de “El Dorado”? UNDP. <https://www.undp.org/es/latin-america/blog/graph-for-thought/lithium-latin-america-new-quest-el-dorado>.
- Maher F. El-Kady, Yuanlong Shao & Richard B. Kaner (2016) Graphene for batteries, supercapacitors and beyond <https://www.nature.com/articles/natrevmats201633>.
- Quilaqueo, M., Seriche, G., Barros, L., González, C., Romero, J., Ruby-Figueroa, R., Santoro, S., Curcio, E., & Estay, H. (2022). Water recovery assessment from hypersaline lithium-rich brines using Membrane Distillation-Crystallization. Desalination, 537, 115887. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115887>.
- Skyllas-Kazacos, M., & Menictas, C. (2022). Vanadium Redox Flow Batteries. En L. F. Cabeza (Ed.), Encyclopedia of Energy Storage (pp. 407-422). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819723-3.00050-0>.
- Sojka, R., Pan, Q., & Billmann, L. (2020). Comparative study of Li-ion battery recycling processes. <https://accurec.de/wp-content/uploads/2021/04/Accurec-Comparative-study.pdf>.
- SQM. (2024). Nuestros productos. Carbonato e Hidróxido de Litio. Sociedad Química y Minera de Chile (SQM). Recuperado XX de mayo de 2024 de <https://www.sqmlithium.com/en/nuestros-productos/>.
- UN Comtrade Database. (2022). Trade data. Recuperado el 02 de abril de 2024 de 2024 de <https://comtradeplus.un.org/TradeFlow>
- USGS. (2024). Mineral Commodity Summaries 2024. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-lithium.pdf>.
- Walter, M., Snyder, V., Balza, L., & Sanin, M. E. (2023). Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe. IDB Publications. <https://doi.org/10.18235/0005271>.
- Wilson Center (2023) El litio de América Latina: perspectivas sobre minerales críticos y la transición energética global <https://www.wilsoncenter.org/publication/el-litio-de-america-latina-perspectivas-sobre-minerales-criticos-y-la-transicion>.

Desbloqueando el éxito de América Latina en la industria del litio

Análisis de la cadena de valor, desarrollo regional y políticas públicas

- Wilson Center (2024) El esquivo desarrollo de la industria del litio para Chile. Recuperado el 02 de abril de 2024 de <https://www.wilsoncenter.org/publication/el-esquivo-desarrollo-de-la-industria-del-litio-para-chile>.
- YLB (2021). Memoria Institucional 2021. Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB). <https://www.ylb.gob.bo/resources/img/Memoria2021YLB.pdf>.

Konrad-Adenauer-Stiftung e.V.
**Programa Regional Seguridad Energética y Cambio
Climático en América Latina (EKLA)**

Directora: Julia Sandner

Coordinación editorial: Giovanni Burga / Johanna Pastor

Dirección fiscal: Calle Grimaldo del Solar 162, Oficina 1004, Miraflores, Lima 18 - Perú

Dirección: Calle Cantuarias 160 Of. 202, Miraflores, Lima 18 - Perú

energie-klima-la@kas.de

www.kas.de/energie-klima-lateinamerika/

Derechos de autor:

Dominio público-CC0 1.0 Universal.

Imagen portada: Opinión: Argentina, Bolivia y Chile necesitan un boom responsable del litio.

Imagen: Enrique Marcarian / Alamy

Fuente: <https://dialogue.earth/en/water/46756-lithium-mining-boom-argentina-bolivia-chile/>



“Esta publicación está bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-Share Conditions 4.0 international. CC BY-SA 4.0 (disponible en: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>)

Aviso:

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y no coinciden necesariamente con los puntos de vista de la Fundación Konrad Adenauer.