



El mercado de litio

Desarrollo reciente y proyecciones al 2035

Actualización a Mayo 2023

DEPP 4/2023

Resumen Ejecutivo

El presente informe es una actualización de la versión anterior de diciembre de 2021 (Cochilco, 2021). Además de reflejar los datos más recientes, se extiende la proyección de demanda y oferta al 2035, se incluyen cifras sobre la evolución del presupuesto de exploración y se analiza en mayor profundidad la importancia del litio para Chile. Cabe hacer notar que el día 20 de abril el Presidente Gabriel Boric presentó la Estrategia Nacional del Litio, uno de cuyos objetivos es el aumentar la producción de litio y dinamizar la industria, lo cual ciertamente tendrá un impacto grande en el mercado del litio, y que en este Informe no se considera. A continuación se sintetizan los elementos principales.

- Demanda y oferta

Proyectamos que la demanda se incremente desde 508 kt de Carbonato de Litio Equivalente (LCE) en 2021 hasta 3.828 kt LCE en 2035, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 15,5%. Este incremento descansa en el mayor consumo proyectado de baterías de ion-litio del sector automotriz. En efecto, se espera que los vehículos eléctricos pasen de representar el 60% del consumo en 2021 a un 83% en 2035.

Analizando el consumo agregado por compuesto, vemos que, si bien al 2021 el carbonato representó cerca del 64% del consumo total frente a un 33% del hidróxido, anticipamos que el hidróxido tendrá un mayor crecimiento en el tiempo, llegando a una relativa paridad con el carbonato hacia el 2035.

En paralelo, proyectamos un crecimiento esperado de la producción mina de 468 kt LCE en 2021 a 2.464 kt LCE en 2035, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 12,6%. Esto viene impulsado por la materialización de proyectos nuevos, que aportarían el 55% de la producción mina hacia 2035.

Balance y precios

El mercado se encuentra en una situación de estrechez desde 2021, con leves déficits que se espera persistan hasta 2024. Esto implica que cualquier disrupción en la oferta de operaciones existentes o retrasos en la puesta en marcha tanto de proyectos nuevos como de expansiones, causen déficits temporales. Más aún, ya a partir de 2027, dadas las expectativas de un crecimiento en la demanda superior a la oferta, proyectamos un déficit creciente.

Esta situación se ha traducido en un alza en los precios, pasando estimativamente desde USD/t 7.950 en diciembre de 2020 hasta USD/t 62.000 en diciembre de 2022 para el carbonato (+680%) y desde los USD/t 10.075 a USD/t 62.000 para el hidróxido durante el mismo periodo (+515%).

- Importancia para Chile

Fundamentalmente a partir de las expansiones de SQM y Albemarle, las dos empresas productoras en el Salar de Atacama, esperamos que Chile aumente su producción desde 162 kt en 2021 hasta 336 kt en 2035. Desde un punto de vista de significancia para el país, el incremento en los precios de 2022 impulsó que las exportaciones de litio nacional ascendieran a USD 8.140 millones, ocho veces más que en 2021.

Tabla de Contenidos

Resumen Ejecutivo	2
I. Introducción	1
II. Demanda	2
1. Usos del litio	2
2. Consumo de litio por compuesto químico	2
3. Consumo por uso final y jurisdicción	3
4. Baterías de ion-litio	3
5. Proyección de la demanda al 2035	6
a. Proyección de la demanda por vehículos eléctricos	6
b. Proyección de la demanda de litio remanente	8
c. Proyección de la demanda agregada de litio	9
d. Proyección de la demanda de litio por composición química	10
6. Riesgos al crecimiento de la demanda de litio	10
III. Oferta	12
1. Fuentes de litio	12
a. Reservas	13
b. Presupuesto de exploración	14
2. Producción por tipo de yacimiento	15
3. Participación de mercado	16
a. Por país	16
b. Por empresa	16
4. Producción mina por compuesto químico	17
5. Costos de producción	17
a. Rango de costos estimados	17
b. Desagregación por insumo	18
6. Proyección de la producción de litio mina al 2035	20
a. Criterios metodológicos	20
7. Producción nacional de litio	20
a. Crecimiento en capacidad y en producción de operaciones existentes	20
b. Estrategia Nacional del Litio	22
c. Producción y capacidad agregada	23
d. Presupuesto de exploración nacional	23
e. Exportaciones nacionales de litio	24
IV. Balance y precios	27
1. Balance 2020-2035	27
2. Evolución de los precios estimados de los compuestos de litio	29
a. Crecimiento, 2016-17	30
b. Caída 2018-20	30
c. Recuperación y despegue, 2021-2022	31
d. Perspectivas de los precios a mediano plazo	31
3. Contratos bursátiles de litio	32
1. Acrónimos y abreviaciones	33

I. Introducción

El litio tradicionalmente ha sido usado en distintas aplicaciones que van desde productos farmacéuticos hasta la fabricación de sistemas de tratamiento de aire. En los últimos años, sin embargo, ha tenido un uso creciente a partir del auge comercial de las baterías recargables de ion litio, las cuales se emplean ampliamente en computadores, teléfonos, sistemas de almacenamiento energético y vehículos eléctricos.

Es precisamente en esta última categoría donde subyace el motor de la demanda. En efecto, en los últimos años las ventas de vehículos eléctricos livianos prácticamente han tenido un crecimiento exponencial. Mientras que en 2012 se vendieron 131 mil unidades, lo que representó menos del 0,1% de las ventas totales de vehículos nuevos, en 2021 se comercializaron 6,8 millones de unidades, equivalente al 6,8% de las ventas de la industria. Es decir, en una semana promedio de 2021 se vendió el equivalente a todo el 2012. Hacia 2030, siguiendo el escenario más conservador de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022), se esperan ventas cercanas a 30 millones, lo que equivaldría a una penetración cercana al 22%.

Dada su importancia para la seguridad y el desarrollo económico sostenible junto a la percepción de escasez en su oferta, varias jurisdicciones como a EE.UU. Unión Europea, Canadá, Japón, Corea del Sur, Australia, Reino Unido y Sudáfrica, actualmente lo incluyen en sus listados de minerales críticos y estratégicos (Natural Resources Canada, 2022). A nivel académico, se ha definido como un material crítico para la transición energética a fuentes sustentables y para el futuro del sector automotriz (Greim, Solomon, & Breyer, 2020; Xu, Dai, Gaines, Hu, & Tukke, 2020). A nivel corporativo, en los últimos años varias automotoras y fabricantes de baterías han buscado activamente asegurar el suministro a través de estrategias de integración vertical con los productores, suscribiendo contratos de largo plazo o incluso entrando directamente a la propiedad de los proyectos mineros.

En este contexto, Chile, en su condición de país líder en reservas de litio, ha recibido el interés de gobiernos y empresas por la producción esperada así como por las políticas regulatorias vigentes en el sector. En este contexto, la Estrategia Nacional del Litio anunciada por el gobierno el 20 de abril de 2023 ha sido seguida con detenimiento a nivel mundial, y es de esperar que continúe siendo el foco de atención en su implementación y desarrollo en el futuro.

En vista de estos antecedentes, avanzar hacia la comprensión del mercado del litio es un asunto que reviste un interés no únicamente a nivel del mercado en sí mismo, sino que también estratégico dada la conjugación de fuerzas que actualmente inciden entre producción y demanda. Esto es especialmente relevante para un país como Chile, no solo por su papel como líder en reservas y segundo productor mundial, sino que también por su búsqueda de desarrollo de valor agregado en la cadena productiva.

El trabajo a continuación se divide en tres capítulos. Primero, en el capítulo II revisaremos la demanda, discutiendo sus principales usos, su evolución reciente, los principales factores que explican su evolución a nivel jurisdiccional, los riesgos asociados, así como su proyección al 2035 en base a sus principales fuentes de consumo. A continuación, en el capítulo III revisaremos la oferta, con una breve discusión sobre las fuentes de producción actual y proyectada, los costos operacionales, la participación de mercado por empresa, la exploración global y la proyección de crecimiento al 2030. Luego se dará paso a una discusión separada sobre la producción y exportaciones nacionales, y la exploración doméstica. Finalmente, en el capítulo IV, evaluaremos conjuntamente la oferta, demanda y balance, y discutiremos la evolución reciente de los precios y sus proyecciones.

II. Demanda

1. Usos del litio

De forma simplificada, como se expone en la Tabla 1, los usos del litio se pueden dividir en dos grandes categorías: En primer lugar, el segmento de baterías de ion-litio, ampliamente usadas en autos eléctricos, artículos electrónicos y sistemas de almacenamiento energético. En segundo lugar, están lo que podemos llamar “usos tradicionales” de litio, que incluyen vidrios y cerámicas, grasas y lubricantes, sistemas de aire acondicionado y productos farmacéuticos, entre otros.

Tabla 1: Principales usos del litio

Baterías recargables	Usos tradicionales
Electromovilidad Vehículos livianos y pesados, <i>e-bikes</i> , <i>scooters</i>	Vidrios y cerámicas Permite una menor expansión térmica, menor temperatura de fuego y mayor fortaleza, entre otras propiedades
Artículos electrónicos <i>Tablets</i> , computadores y teléfonos, herramientas	Grasas y lubricantes Permite usarlos a temperaturas y condiciones variables. Agregan viscosidad
Almacenamiento energético Preocupación creciente frente a auge de energías renovables. Combinando baterías con sistemas de machine learning, se puede conservar electricidad para uso futuro	Otros Tratamiento de aire, productos farmacéuticos, plásticos y polímeros, entre otros

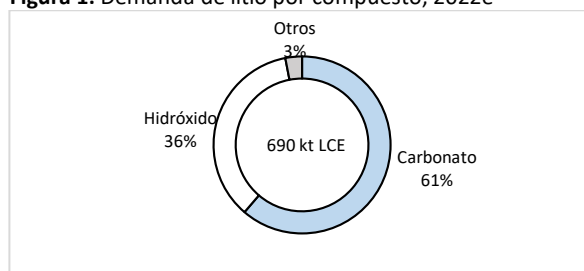
Fuente: Cochilco.

Las baterías recargables para autos eléctricos son actualmente el principal *driver* de la demanda, situación que se espera crezca en el tiempo. En consecuencia, toda discusión sobre demanda de litio se sustenta en primera instancia en el auge que ha experimentado la electromovilidad en los últimos años.

2. Consumo de litio por compuesto químico

El litio se puede categorizar según su composición química en carbonato, hidróxido y otros compuestos que incluyen concentrados, butil-litio, bromuro y metal de litio. Actualmente, como se ilustra en la Figura 1, el carbonato es el producto de mayor utilización industrial con el 61%, seguido del hidróxido y productos previos para su elaboración (principalmente en forma de concentrados de espodumeno) con un 36%.

Figura 1: Demanda de litio por compuesto, 2022e



Fuente: Cochilco.

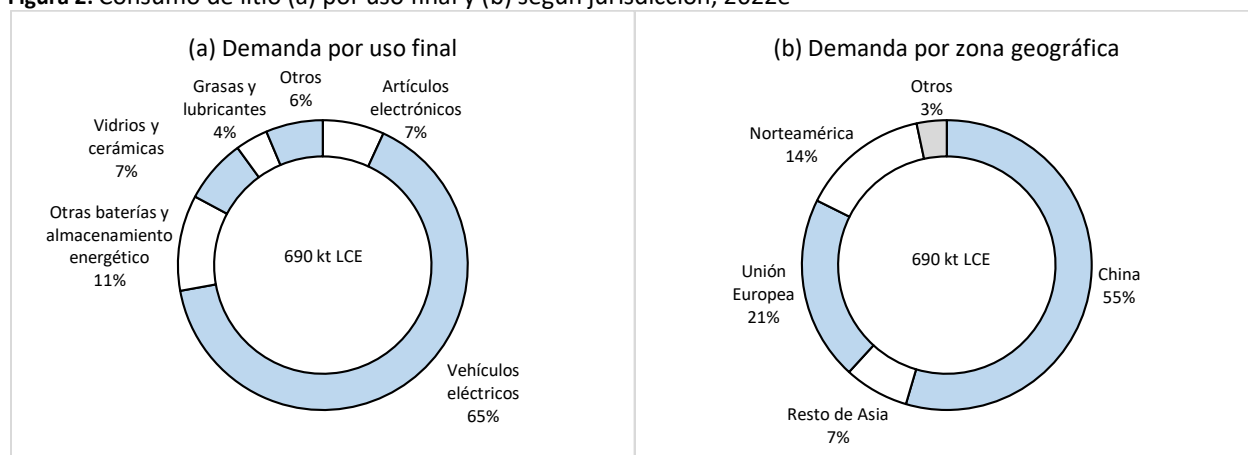
De igual forma, tanto el hidróxido como el carbonato se pueden categorizar en grado técnico y grado batería según su grado de pureza. Como lo señala su nombre, el grado batería se tiende a usar primordialmente en baterías de ion-litio, las cuales suelen requerir una mayor pureza. Así, por ejemplo, para el carbonato el grado técnico suele requerir un 99,0% de pureza, mientras que el grado batería exige al menos un 99,5% (Schenker, Oberschelp, & Pfister, 2022).

3. Consumo por uso final y jurisdicción

La Figura 2 ilustra en su panel (a) el consumo estimado de litio por uso final y en su panel (b) el consumo por zona geográfica en 2022. Como se observa en el panel (a), más del 80% del litio se utiliza en la fabricación de baterías de ion-litio, dividiéndose en alrededor de dos tercios para vehículos eléctricos (considerando vehículos eléctricos enchufables, sean completamente eléctricos o híbridos), 7% para artículos electrónicos de uso personal (computadores, *tablets*, teléfonos, herramientas de ferretería, entre otros) y 11% para sistemas de almacenamiento energético y otras baterías. El resto de la demanda vino dada por los sectores tradicionales de uso del litio, destacando los vidrios y cerámicas, con 7%, así como los lubricantes y grasas, con 4%.

Por otra parte, como se observa del panel (b), China es por lejos el principal consumidor, concentrando el 55% a nivel mundial. La alta importancia de China no es accidental. En efecto, responde a su construcción durante años de una cadena industrial de fabricación de baterías de ion-litio, concentrando al 2022 el 77% de la capacidad de fabricación de celdas de baterías (IEA, 2022). De igual forma, vemos que otras jurisdicciones con industrias automotrices y de aplicaciones electrónicas altamente desarrolladas tienen una alta demanda, como la Unión Europea, con 21%; Norteamérica, con 14%; y el resto de Asia (comprendiendo mayoritariamente a Japón y Corea del Sur) con 7%.

Figura 2: Consumo de litio (a) por uso final y (b) según jurisdicción, 2022e



Fuente: Cochilco.

4. Baterías de ion-litio

El litio es el metal más liviano y el elemento sólido de menor densidad, contando con el mayor potencial electroquímico entre todos los metales (Althaus, Notter, & Gauch, 2009). Esto faculta que las baterías de ion-litio pueden almacenar una mayor cantidad de energía en un sistema relativamente pequeño y liviano. Es decir, que tengan una alta densidad energética. Asimismo, cuentan con el mayor ratio carga/peso, atributo especialmente deseable en medios de transporte (Goonan, 2012). Como resultado, las baterías de ion-litio se han convertido progresivamente en la batería preferida por el mercado (Rapier, 2019).

El litio es usado en los tres componentes principales de la batería de ion-litio: el ánodo, el electrolito y el cátodo. Sin embargo, su uso principal radica en el cátodo. En este elemento se han desarrollado varias tecnologías que tienden a denominarse en base a los metales contenidos y sus proporciones. Así, por

ejemplo, NCM 622, se refiere a un cátodo en base a 60% níquel, 20% cobalto y 20% manganeso, mientras que NCM 111 también emplea estos materiales pero en iguales proporciones. LFP por su parte se refiere a Litio Ferro-Fosfato y NCA viene dada por Níquel-litio, Cobalto y óxido de Aluminio.

Los fabricantes de baterías en el segmento de vehículos eléctricos buscan optimizar la química del cátodo de la batería principalmente en los parámetros de eficiencia energética, construcción, costo, ciclo de vida, seguridad y autonomía (Iclodean, Varga, Burnete, Cimerdean, & Jurchiș, 2017). Los avances recientes tienden a incrementar el contenido de níquel en el cátodo, en tanto permite una mayor densidad energética y, por ende, una mayor autonomía del vehículo. Esto ha traído dos consecuencias que vale la pena delinear brevemente:

- Un mayor uso de níquel favorece el uso de hidróxido de litio en lugar de carbonato. A medida que el contenido de níquel se aproxima a 60%, las mayores temperaturas requeridas para sintetizar el material del cátodo con carbonato dañan su estructura y cambia el estado de oxidación del níquel. Sin embargo, el hidróxido permite una síntesis rápida y completa a menor temperatura, incrementando el desempeño y vida útil de la batería (Argus Media, 2019).
- Un mayor uso de níquel tiende a favorecer el uso de cobalto, manganeso u otros elementos que minimicen su corrosión. Esto ocurre porque el níquel es altamente reactivo al electrolito, razón por la cual se suele agregar elementos correctores de las deficiencias propias del níquel.

Con estas consideraciones, la Tabla 2 expone los usos principales potenciales así como las mayores ventajas y desventajas percibidas por la industria del uso de las principales tecnologías de cátodo de batería de ion-litio. Vemos que en general, la densidad energética, el costo y el ciclo de vida útil suelen ser las principales consideraciones incidentes, las cuales también determinan los usos de cada categoría.

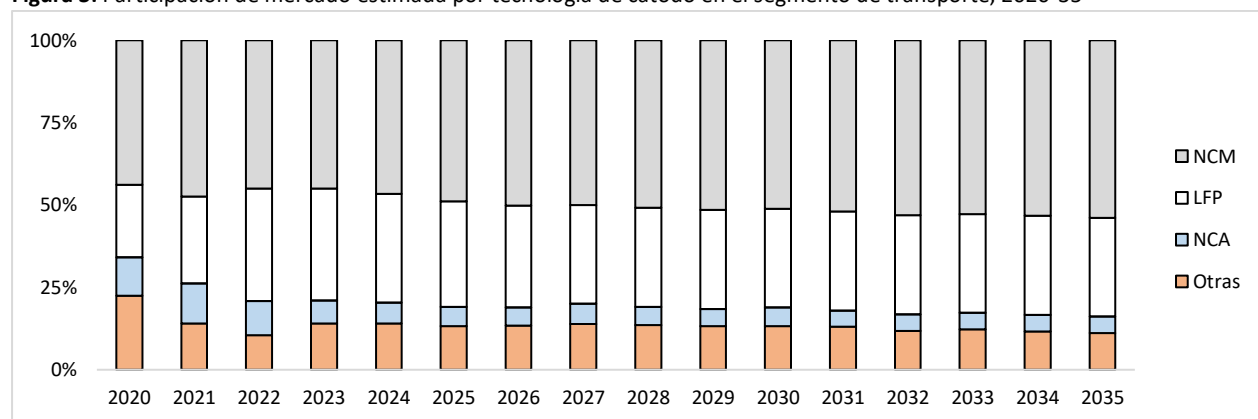
Asimismo, una consideración que ha generado una preocupación creciente en los últimos años es la intensidad de uso de cobalto. Dada la falta de seguridad percibida en su oferta, la alta variabilidad en sus precios y los cuestionamientos ambientales y laborales asociados a su explotación actual llevada a cabo mayormente en la República Democrática del Congo, varios fabricantes de baterías han invertido en I+D para reducir su exposición (especialmente en baterías del tipo NCM) o incluso eliminarlo por completo (como en el caso de las LMO, LMNO y LFP).

Tabla 2: Principales usos potenciales, ventajas, desventajas y uso de litio de distintas tecnologías de cátodo

Tipo de cátodo	Principales usos actuales y potenciales	Principales ventajas	Principales desventajas	Tipo	Uso de Li (kg/kWh)	
					Cátodo	Electrolito
Litio y óxido de cobalto (LCO)	Artículos electrónicos portátiles	Alta estabilidad química	Intensiva en cobalto Densidad energética limitada	-	0.15	
Níquel-litio, Cobalto y óxido de Aluminio (NCA)	Vehículos eléctricos de alta gama y artículos electrónicos portátiles	Alta densidad energética Alta vida útil	Menor estabilidad en relación a otras baterías con menor uso de níquel	-	0.14	0.04
Níquel-litio, Cobalto y Manganeso (NCM)	Vehículos eléctricos de gama media y artículos electrónicos portátiles	Alta estabilidad química Alta vida útil Costo moderado	Intensiva en cobalto (según modelo) Menor densidad energética que otras baterías con Ni.	111	0.16	0.05
				532	0.14	0.05
				622	0.13	0.05
				811	0.11	0.05
Litio, Óxido de Manganeso (LMO)	Herramientas eléctricas, <i>e-bikes</i> , <i>scooters</i> , equipos médicos de alto consumo	Alta tasa de carga Alta estabilidad química No contiene cobalto	Vida útil acotada Menor capacidad en relación a cátodos basados en cobalto	-	0.08	0.03
Litio, Manganeso, Óxido de Níquel (LMNO)	Vehículos eléctricos	Alta tasa de carga No contiene cobalto	Vida útil acotada	-	0.15	0.03
Litio Ferro-Fosfato (LFP)	Almacenamiento energético, <i>e-bikes</i>	Bajo costo Alta vida útil y estabilidad química No contiene cobalto	Densidad energética acotada		0.12	0.04
Litio sulfuro (LiS)	Drones y satélites	Alta densidad energética, bajo costo y bajo peso	Rápida degradación (baja vida útil) y baja conductividad en el cátodo		0.19	0.01
Litio Aire (Li-Aire)	Vehículos eléctricos, almacenamiento energético	Alta densidad energética	Baja estabilidad química y electroquímica		0.19	-

Cochilco en base a BMI (2022), Sumitomo Metal Mining (2021), Sinovoltaics (2021), Accardo et al. (2021), Bongartz et al (2021).

La Figura 3 ilustra las proporciones de uso estimado de las tecnologías de cátodos de aplicación comercial desde 2015 en adelante, incluyendo su proyección al 2035. Vemos que en general se ha tendido a privilegiar las baterías tipo NCM, las cuales se estima que concentraron alrededor 45% de la demanda en 2022 y se espera superen el 50% al 2028. A esta le sigue la batería LFP, que si bien tienen una menor densidad energética en relación a las baterías NMC y NCA, cuentan con la ventaja de que suprimen la necesidad de usar cobalto, razón por la cual continuarán siendo relevantes. A diferencia de las NMC, las LFP típicamente emplean carbonato de litio.

Figura 3: Participación de mercado estimada por tecnología de cátodo en el segmento de transporte, 2020-35

Fuente: Cochilco en base a BMI (2020; 2022).

5. Proyección de la demanda al 2035

a. Proyección de la demanda por vehículos eléctricos

Como mencionamos previamente, en los últimos años la principal fuente de demanda de litio ha provenido de los vehículos eléctricos. Esta es una tendencia que se espera continúe creciendo progresivamente, ante lo cual cualquier proyección que se haga de la demanda de litio dependerá en primer término de las perspectivas de crecimiento del sector de electromovilidad. Como resultado, una adecuada proyección de demanda inevitablemente descansa sobre la proyección de las ventas de autos eléctricos.

Proyectamos la demanda por electromovilidad en base a cuatro pasos, descritos a continuación:

Paso 1: Obtenemos la demanda proyectada de autos eléctricos.

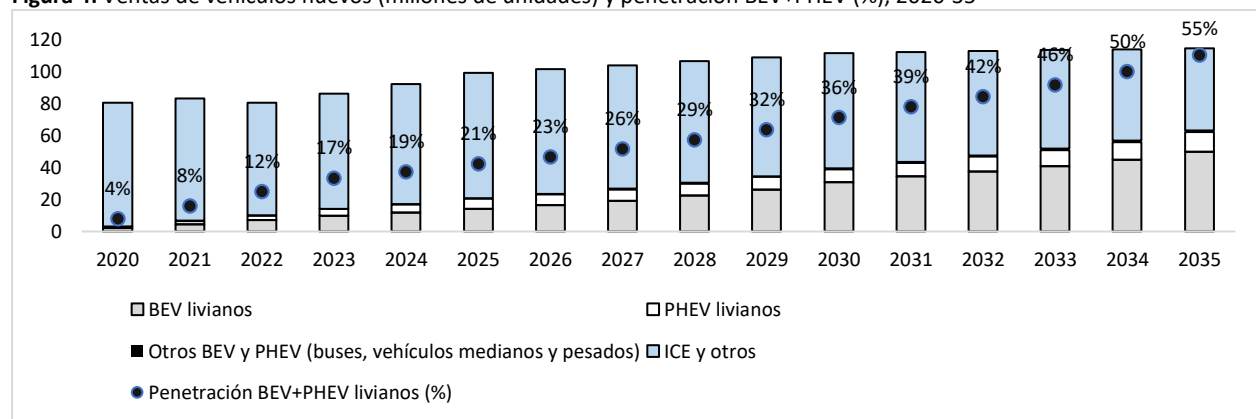
Para esto consideramos vehículos eléctricos enchufables (EV). En particular:

- Vehículos completamente eléctricos (*Battery Electric Vehicles*, en adelante abreviados como BEV). Funcionan únicamente en base a baterías recargables de ion-litio.
- Vehículos híbridos enchufables (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles* o PHEV). Cuentan tanto con una batería de ion-litio como con un motor de combustión interna.

Cabe advertir que no estamos considerando otras tecnologías de vehículos eléctricos que no requieren conexión eléctrica para su funcionamiento, tales como vehículos con celdas de combustible de hidrógeno (*Fuel-Cell Electric Vehicles*, FCEV) ni tampoco eléctricos híbridos (*Hybrid Electric Vehicles*, HEV), que emplean un motor de combustión interna apoyado por una batería, pero no requieren carga eléctrica¹.

Para la proyección anual al 2035 recurrimos a las estimaciones de Rho Motion (2022), ilustrada en la Figura 4. Se clasifican las ventas proyectadas de automóviles en cuatro categorías: BEV livianos (por livianos nos referimos a autos de pasajeros y vans), PHEV livianos, BEV y PHEV de tamaño medio y pesado (incluyendo buses) y, finalmente, vehículos de combustión interna (*Internal Combustion Engine*, ICE) y otros. De igual forma, se ilustra la penetración del segmento BEV y PHEV dentro de las ventas totales proyectadas.

Figura 4: Ventas de vehículos nuevos (millones de unidades) y penetración BEV+PHEV (%), 2020-35



Fuente: Cochilco en base a Rho Motion (2022) y IEA (2022).

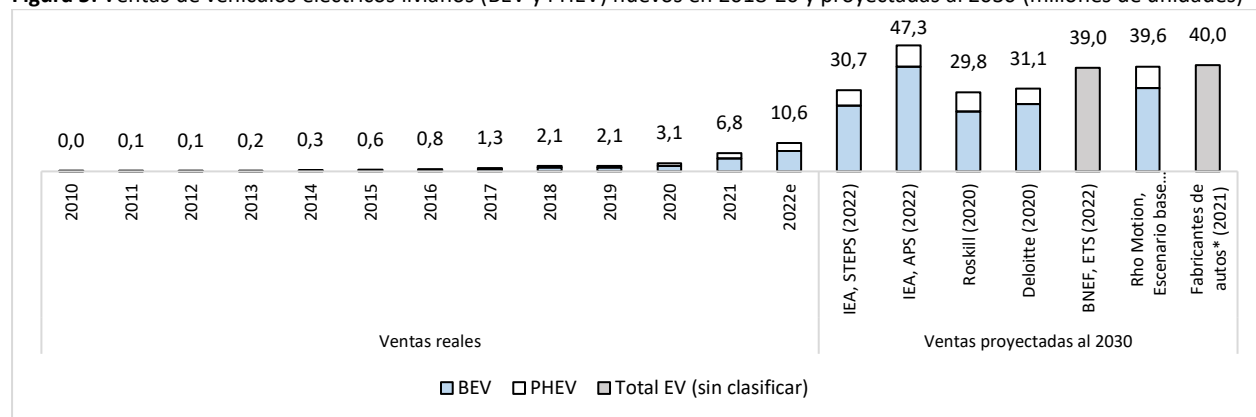
¹ La distinción entre las cuatro categorías de vehículos eléctricos puede conducir a confusiones al considerar las definiciones a nivel gubernamental e institucional para agruparlas. Por ejemplo, si se habla de Vehículos de Cero Emisiones (*Zero Emission Vehicles*, ZEV), se entiende a aquellos que no producen emisiones de CO₂ para funcionar, lo cuales comprenden a los FCEV y los BEV, pero no a los PHEV o los HEV. El gobierno de China, por su parte, típicamente habla de los vehículos de nuevas tecnologías (*New Energy Vehicles* o NEV) que incluye FCEV, BEV y PHEV.

Si bien la pandemia del Covid-19 generó una reducción en las ventas de vehículos nuevos de 92,7 a 80,6 millones entre 2019 y 2020 (-13%), las ventas de vehículos eléctricos livianos se incrementaron de 2,1 millones en 2019 a 3,1 millones de unidades en 2020 (+45%) y luego 6,8 millones en 2021 (+ 119%). De acuerdo a proyecciones de Rho Motion, se espera que la industria llegue a ventas de 39,6 millones de unidades al 2030 y 63 millones al 2035, lo que arrojaría una penetración de 36% y 55% respectivamente.

Cabe advertir que este crecimiento esperado supone superar al 2035 en unas 20 veces las ventas de 2021, lo que se traduce en una tasa de crecimiento compuesto anual de 17,5%. A modo comparativo, la Figura 5 ilustra las proyecciones al 2030 de Deloitte (2020), la Agencia Internacional de Energía en sus escenarios STEPS (*Stated Policies Scenario*) y APS (IEA, 2022), BloombergNEF (2021) en su ETS (*Economic Transition Scenario*) y los mayores fabricantes de automóviles seleccionados y encuestados por BloombergNEF (2021). En general vemos que la proyección de 39,6 millones de Rho Motion está ligeramente por encima por las estimaciones realizadas por las otras agencias e instituciones como BNEF y el escenario STEPS de la IEA, pero igualmente dentro de un rango relativamente razonable.

Ahora bien, la magnitud de estas proyecciones respecto de la situación actual pone el relieve las complejidades inherentes para estimar el crecimiento de una industria aún en etapas incipientes, pero que se espera que domine el mercado en las próximas décadas. Dada la alta relevancia de este sector sobre la demanda de litio, se refuerza la noción de que toda proyección sobre el crecimiento de sus ventas tendrá un impacto significativo sobre la demanda agregada de litio en el futuro.

Figura 5: Ventas de vehículos eléctricos livianos (BEV y PHEV) nuevos en 2018-20 y proyectadas al 2030 (millones de unidades)



*Según planes de fabricantes de autos seleccionados por BloombergNEF (2021). Puede incluir otros EV².

Fuente: Cochilco en base a IEA (2022), Deloitte (2020), Roskill (2020), BloombergNEF (2021; 2022) y Rho Motion (2022).

Paso 2: Obtención de la demanda energética de baterías de ion-litio a usarse en autos eléctricos.

- En primer lugar, para cada una de las categorías de vehículos eléctricos buscamos la capacidad promedio de la batería de ion-litio (kWh por unidad). Es decir, cuantos kWh será capaz de proveer una batería estándar de acuerdo a la tecnología vigente en cada año.
- En segundo lugar, multiplicamos la capacidad unitaria de cada categoría (kWh/unidad) por nuestra proyección de vehículos eléctricos en cada categoría ya calculada en el Paso 1. Con esto obtenemos una proyección de la demanda energética total de baterías de ion-litio por año al 2035.

² Las metas de los fabricantes se basan en la categoría amplia de EV (no solo BEV y PHEV) lo que deja un cierto grado de ambigüedad con respecto a sus posibles ventas proyectadas de modelos híbridos.

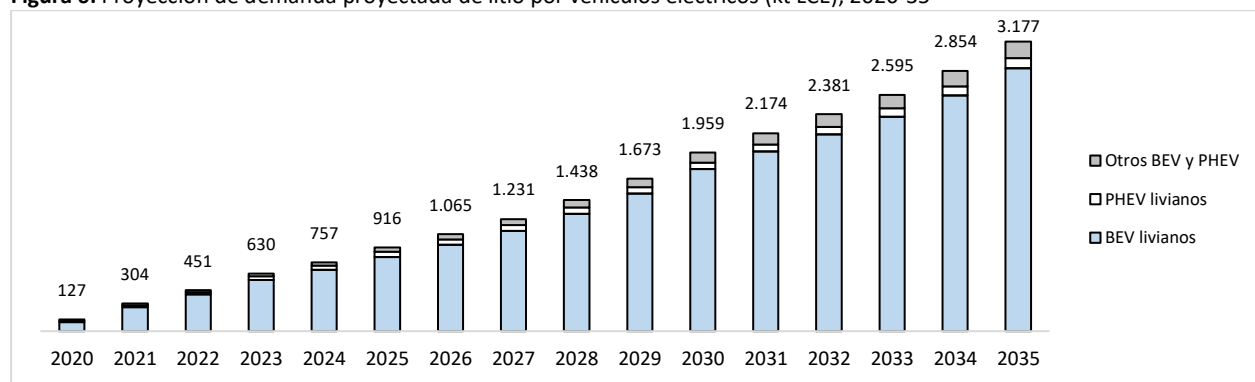
Paso 3: Estimamos el litio requerido por las baterías de ion-litio

- En primer término, para cada tipo de batería de ion-litio revisamos cuanto litio contienen en promedio en sus cátodos y electrolitos, disponibles en la Tabla 2.
- Luego, obtenemos una proyección de la tasa de penetración de cada tipo de batería para vehículos eléctricos. Para esto recurrimos a la estimación de BMI, ilustrada anteriormente en la Figura 3.
- Finalmente, a partir de ambas proyecciones, obtenemos el contenido de litio por energía (kg. Li/kWh) en una batería de ion-litio promedio a través de la multiplicación de los vectores de adopción de batería por año con el vector de contenido de litio por batería por año.

Paso 4: Proyección de la demanda de litio en autos eléctricos

Finalmente, a través de la multiplicación de las proyecciones descritas en los pasos 3 y 4, podemos estimar la demanda de litio agregada por año en autos eléctricos. Esta se simula en la Figura 6 a continuación.

Figura 6: Proyección de demanda proyectada de litio por vehículos eléctricos (kt LCE), 2020-35

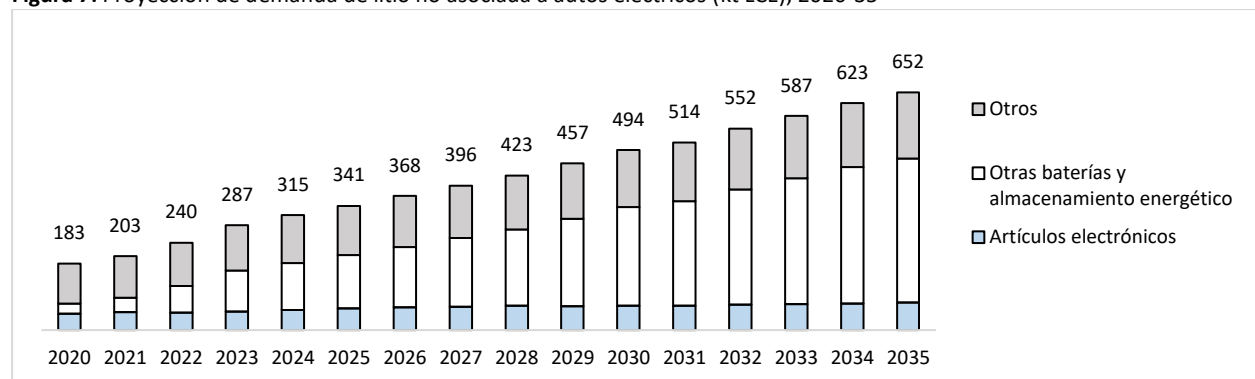


Fuente: Cochilco.

Como se observa de la Figura, proyectamos que la demanda asociada a electromovilidad se incrementaría desde 304 kt en 2021 a 3.177 kt LCE hacia el 2035, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 18,2%. Desagregando por tipo de vehículo, esperamos que las ventas de BEV continúen siendo el principal motor de la demanda del segmento, pasando de representar el 86% del total en 2021 a un 91% al 2035.

b. Proyección de la demanda de litio remanente

A fin de proyectar la demanda de litio derivada de otras fuentes de consumo, consideraremos las estimaciones realizadas por HSBC (2018) ajustadas por estimaciones recientes de BMI (2022) para tasas de adopción de tecnologías de baterías en cada segmento de mercado. De manera simplificada, las agruparemos en tres categorías: artículos electrónicos (incluyendo baterías para *tablets*, computadores, teléfonos y herramientas electrónicas), almacenamiento energético y otras baterías (incluyendo, por ejemplo, baterías para *e-bikes*) y otros (cerámicas, polímeros y usos no vinculados a baterías). La proyección de cada una de estas categorías se ilustra en la Figura 7 a continuación:

Figura 7: Proyección de demanda de litio no asociada a autos eléctricos (kt LCE), 2020-35

Fuente: Cochilco en base a HSBC (2018) y BMI (2020; 2022).

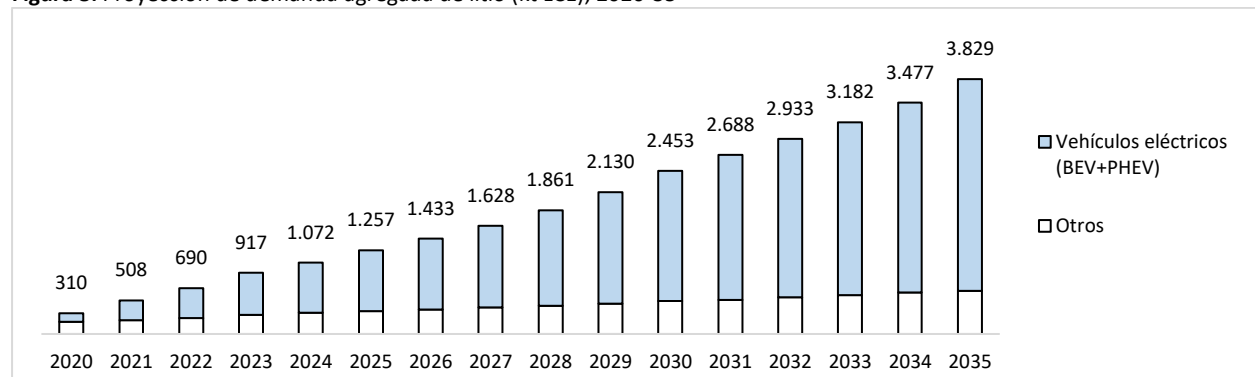
Cabe señalar que en varios de estos mercados, tales como la telefonía celular o los computadores portátiles -agrupados en la categoría “artículos electrónicos”- así como los usos tradicionales del litio -agrupados en la categoría “otros”- son considerados maduros por lo que su proyección de crecimiento es de menor riesgo. Sin embargo, existen otros que pueden presentar una mayor volatilidad, tales como las baterías de ion-litio para bicicletas electrónicas o *e-bikes*, o los sistemas de almacenamiento energético.

Sobre esta última categoría, si bien se espera que los sistemas almacenamiento energético presenten un crecimiento relativamente alto, es posible que se vea amenazado en el mediano plazo por tecnologías que atenúen significativamente o incluso eliminen el uso de litio. En particular, se ha estudiado el uso del vanadio. Para una discusión sobre este tema, véase da Silva et al. (2021) y Watkins (2014).

c. Proyección de la demanda agregada de litio

Ya con las proyecciones individuales según cada fuente de consumo de litio, proyectamos la demanda agregada. Esto se ilustra en la Figura 8, separando por el segmento de autos eléctricos y todo lo demás.

En suma la demanda de litio crecería desde 508 kt LCE en 2021 hasta 3.829 kt LCE al 2035, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 15,5%. Como se podía anticipar a partir de las proyecciones anteriores, el incremento esperado de la demanda depende fundamentalmente del crecimiento de la electromovilidad. En efecto, esperamos que el segmento de vehículos eléctricos pase de representar el 60% del consumo agregado de litio en 2021, y el 65% estimado en 2022 a un 83% en 2035.

Figura 8: Proyección de demanda agregada de litio (kt LCE), 2020-35

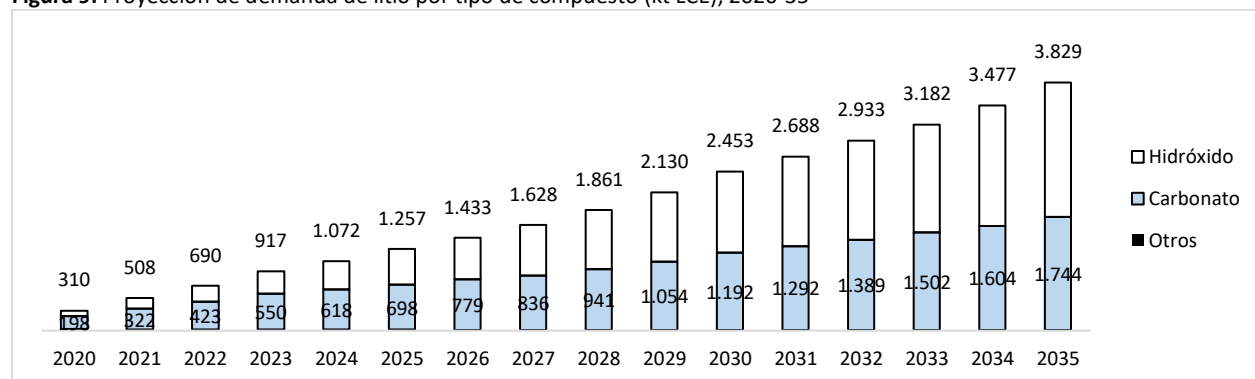
Fuente: Cochilco.

d. Proyección de la demanda de litio por composición química

Como expusimos en la sección 2 del presente capítulo, el consumo de litio se divide mayormente en compuestos de carbonato e hidróxido. Como se puede apreciar en la Figura 9, si bien al 2021 estimamos que el carbonato es demandado con mayor intensidad con un 64% del consumo total frente a un 33% del hidróxido, esperamos que hacia el 2035 el hidróxido sea el principal motor de la demanda, llegando a un 54% del total versus un 46% para el carbonato.

Este progresivo crecimiento de la participación del hidróxido de litio se explica mayormente por una inclinación de los fabricantes por baterías del tipo NCM (Níquel-Litio, Cobalto, Manganese), variedad que suele ser intensiva en hidróxido.

Figura 9: Proyección de demanda de litio por tipo de compuesto (kt LCE), 2020-35



Fuente: Cochilco.

6. Riesgos al crecimiento de la demanda de litio

Dado el alto peso que tiene el crecimiento esperado de la electromovilidad sobre el consumo de litio, es prudente detenernos en algunos de los riesgos más importantes que puede enfrentar esta industria desde el punto de vista de la demanda. Esto es particularmente relevante al considerar que históricamente las ventas de autos eléctricos han sido menores a las esperadas por el mercado, situación que naturalmente genera incertidumbre sobre cualquier proyección de la demanda.

En general podemos agrupar los riesgos según su temporalidad de mediano o largo plazo según se expone en la Tabla 3. Ahora bien, se debe acotar que esta clasificación es únicamente referencial.

Tabla 3: Principales riesgos asociados al crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos

Temporalidad	Mayores riesgos
Mediano Plazo	Atenuación o eliminación de los subsidios a vehículos eléctricos Menores sanciones o costos (establecidos en algunas jurisdicciones) al uso vehículos de combustión interna Menores mejoras tecnológicas en el desarrollo de baterías de ion-litio Desaceleración económica en China y a nivel global
Largo Plazo	Menor precio del petróleo (escenario discutible a partir de la extensión de la guerra en Ucrania) Percepciones y patrones de conducta de los consumidores ¿Posibles sustitutos? (hidrógeno, ion-sodio, ion-magnesio, potasio-ion, redox de vanadio, ion-calcio, otras)

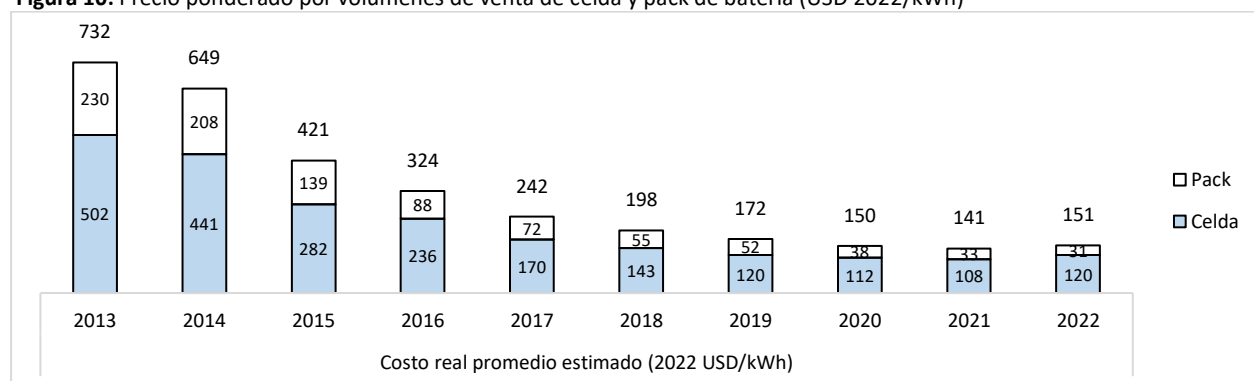
Fuente: Cochilco.

Varios de los riesgos se relacionan con la amenaza de sustitutos y con el costo relativo de los vehículos eléctricos frente a los de combustión interna.

Como se ilustra en la Figura 10, durante la última década los avances tecnológicos han permitido una reducción año a año en los precios reales de baterías de ion-litio, pasando en dólares de 2022 desde USD/kWh 732 en 2013 a USD/kWh 141 en 2021. En 2022, sin embargo, se encontró por primera vez un alza interanual, llegando a USD/kWh 151 (+7% en términos reales). Esto se atribuye principalmente al incremento en los precios de las materias primas como níquel, cobalto y litio, y de algunos componentes específicos para su fabricación (BloombergNEF, 2022).

Este incremento interanual en el precio puede jugar en contra de la adopción de la electromovilidad considerando que, de acuerdo a BloombergNEF (2021), en mercados desarrollados donde gran parte de los consumidores prefiere vehículos de mayor tamaño, como EE.UU. y en menor medida Europa, es necesario que el precio medio ponderado llegue a USD 80 kWh para que los vehículos eléctricos sean competitivos frente a un automóvil de combustión interna. En otros mercados, se estima una reducción de hasta USD 60 kWh para lograr una paridad de costos en los modelos más comercializables.

Figura 10: Precio ponderado por volúmenes de venta de celda y pack de batería (USD 2022/kWh)



Fuente: BloombergNEF (2022).

Si bien la batería es el mayor costo de fabricación directo de un vehículo eléctrico, representando cerca de un tercio del total, también se deben considerar los costos de la arquitectura del vehículo. En esta área, BloombergNEF (2021) estima que los vehículos eléctricos siguen siendo más costosos que los de combustión interna, lo que se prevé que se logre revertir en la medida en que los fabricantes dediquen espacios de arquitectura exclusivos para su elaboración en lugar de readaptar espacios ya existentes para automóviles de combustión interna (“EV Modificados”).

Dentro de los riesgos de largo plazo, se encuentra el costo relativo de carga de automóvil, la electricidad usada por un vehículo eléctrico frente a los combustibles fósiles usados por uno de combustión interna. Si en el largo plazo el precio del petróleo llegase a aumentar sustancialmente en relación al de la electricidad, caerían los costos relativos de uso de un vehículo eléctrico en relación a uno de combustión interna. A partir del auge y desarrollo tecnológico continuo de las energías renovables no convencionales que ofrecen menores costos (BloombergNEF, 2020), es probable que el costo de la electricidad tienda a caer a nivel mundial en el largo plazo, sin embargo, existen factores que pueden disuadir la adopción a mediano plazo, toda vez que en varias jurisdicciones la matriz eléctrica aun depende en un grado sustancial de combustibles fósiles. Así, por ejemplo, la reciente guerra en Ucrania ha derivado en incrementos en los

precios tanto de los combustibles fósiles y de la energía eléctrica a nivel mundial y especialmente en Europa.

Por otra parte, un riesgo o complejidad que solía percibirse como relativamente alto de los vehículos eléctricos en relación a los de combustión interna era su menor vida útil y autonomía. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos han tendido hacia una mayor densidad energética del cátodo, lo que a su vez ha permitido que los automóviles eléctricos se vuelvan progresivamente competitivos frente a los de combustión interna. Con todo, existen otros factores que pesan en la comparación de ambas categorías (por ejemplo, la velocidad de carga y la disponibilidad de puntos de carga), los cuales dependerán en buena parte de los esfuerzos gubernamentales y privados en la construcción de infraestructura.

Por último, además de la industria específica de vehículos eléctricos, hay riesgos de largo plazo de una naturaleza más amplia que potencialmente pueden afectar a uno o más sectores de baterías de ion-litio. Aquí cabe, por ejemplo, el potencial desarrollo a escala comercial de baterías de potasio-ion, ion-sodio y redox de vanadio para almacenamiento energético o hidrógeno para electromovilidad. Ahora bien, aún de ocurrir una transición de este tipo, es improbable que suceda en el corto o mediano plazo, especialmente en lo atinente a baterías para uso en el sector de transporte. Esto por dos motivos. Primero, no se conocen materiales con la densidad energética del litio que puedan ser usados comercialmente. Segundo, los fabricantes de baterías ya están realizando inversiones multimillonarias en mega-fábricas (*gigafactories*) y no es probable que las dejen de lado a partir de tecnologías que aún no son escalables comercialmente en relación de la industria de las baterías de ion-litio.

III. Oferta

1. Fuentes de litio

Si bien el litio es abundante en la corteza terrestre y en océanos, en general se suelen distinguir cinco fuentes posiblemente rentables de explotación en estado natural: a partir de mineral de roca o pegmatitas (comúnmente en la forma de espodumeno), salmueras en reservorios acuosos continentales (típicamente salares), salmueras en depósitos geotérmicos, arcillas y zeolitas. Actualmente solo se lleva a cabo explotación en las dos primeras fuentes mencionadas: pegmatitas y salmueras en acuíferos. En la Tabla 4 a continuación presentamos una somera clasificación de estas categorías según tipo de depósito, participación estimada de sus recursos a nivel mundial y el estado natural en que se encuentran.

Tabla 4: Clasificación de los recursos de litio en estado natural potencialmente explotables

Tipo	Tipos de depósitos	Part. mundial	Estado natural	Ubicación mayores depósitos
Pegmatitas	Espodumeno, petalitas, lepidolitas, amblygonita y eucryptita, mica	27%	Roca dura (a partir de magma cristalizado bajo la superficie terrestre)	Australia, EE.UU., RDC, Canadá
Salmueras en reservorios acuíferos	Salares y lagunas continentales	60%	Salmueras (arenas, agua y sales minerales)	Triángulo del litio (Chile, Argentina, Bolivia), Zabuye (China)
Salmueras en depósitos geotérmicos	Acuíferos formados por la circulación de aguas calientes a partir de fracturas terrestres	3%	Solución salina disuelta a altas temperaturas junto a otros minerales	Frontera California-México, Alemania (Rhine Graben), norte de Chile
Arcillas	Arcillas, toba volcánica, rocas evaporitas lacustres	7%	Arcillas minerales de esmectita (arcilla)	EE.UU. (Nevada), México (Sonora), Chile (Llamará)
Zeolitas	Capas de jadarita, mineral de silicato de la familia de las zeolitas	3%	jadarita (evaporita lacustre)	Serbia (Jadar)

Fuente: Cochilco en base a Bradley, Stillings, Jaskula, Munk, & McCauley (2017) y otras fuentes de mercado.

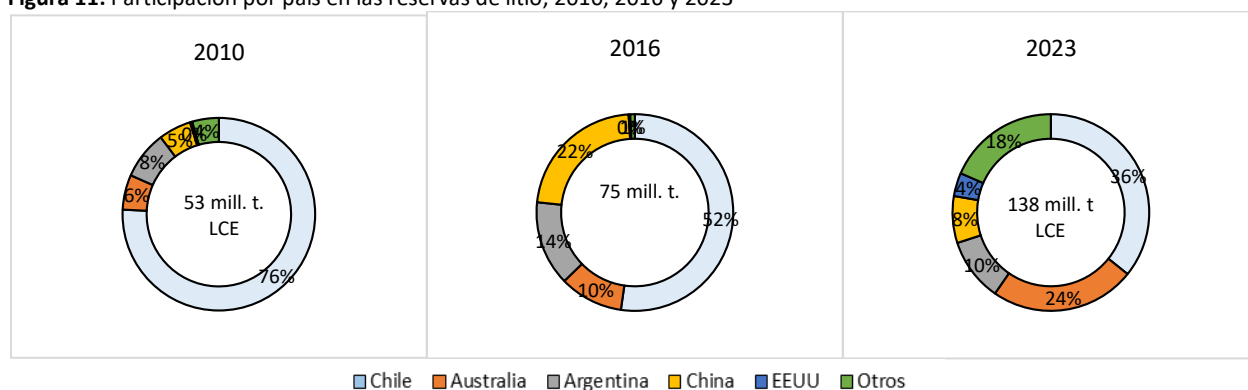
Como se puede apreciar, los depósitos de salmueras son los más abundantes a nivel mundial. Estos se concentran en el llamado “triángulo del litio” (entre el noreste de Chile, el noroeste de Argentina y el sur de Bolivia³), con Chile abarcando cerca de dos tercios de las reservas de salmueras. Sin embargo, los yacimientos pegmatíticos, especialmente de espodumeno, si bien actualmente cuentan con una explotación concentrada en Australia, están ampliamente distribuidos a nivel mundial. En la actualidad estos dos tipos de depósitos son las dos únicas fuentes de producción de litio desde fuentes naturales.

Por otra parte, si bien no se considera en la Tabla 4, también es posible la producción a partir de fuentes no puramente naturales tales como el reciclaje, pozos petroleros y también relaves. Si bien la explotación a partir de pozos petroleros tiene desafíos propios que impiden proyectar realistamente su explotación en el mediano plazo⁴, en el caso de la recuperación a partir de relaves, sí lo es. De hecho, ya a partir de 2019 una compañía lo realizó a escala comercial en Brasil⁵.

a. Reservas

La Figura 11 ilustra las reservas de litio por país de acuerdo a la clasificación del Servicio Geológico de los EE.UU (USGS, por sus siglas en inglés) en 2010, 2016 y 2023. Vemos que las reservas mundiales se han más que doblado entre 2010 y 2023. Si bien esto desde luego responde parcialmente a variaciones en los precios de largo plazo (que permiten que algunos recursos identificados pasen a considerarse como reservas en periodos de precios con tendencia alcista), también responde a las actividades de prospección y exploración, tanto en operaciones actuales, o *brownfield*, como en proyectos nuevos, o *greenfield* (lo que a su vez también depende en gran parte de los precios internacionales).

Figura 11: Participación por país en las reservas de litio, 2010, 2016 y 2023



Fuente: Cochilco en base a USGS (2010; 2015; 2022).

³Sin embargo, los recursos bolivianos presentan una concentración relativamente alta de magnesio, elemento que dificulta y encarece el procesamiento (Bloomberg, 2018).

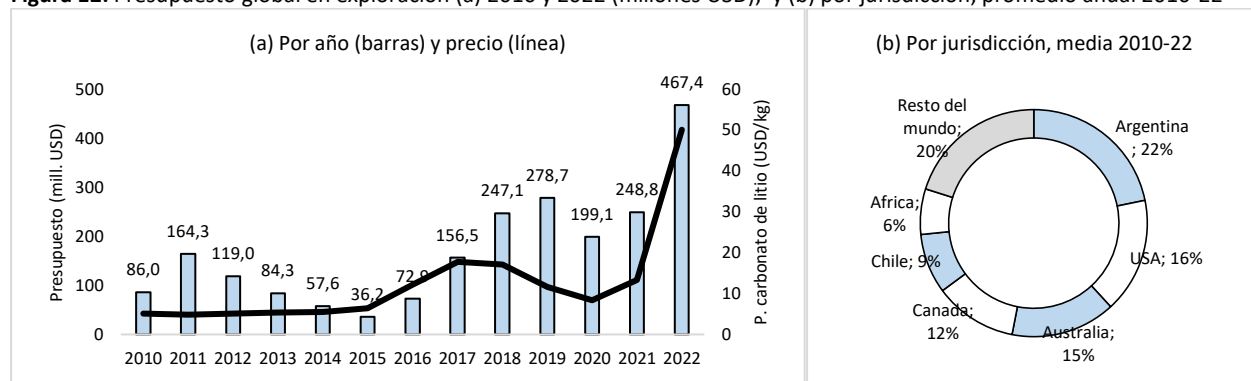
⁴En primer lugar, típicamente ocurren a grandes profundidades (más de 1 km.) en relación, por ejemplo, a los acuíferos de salmueras. En segundo lugar, a menos que estén localizados en zonas áridas, la recuperación usando métodos rentables y expeditos como la evaporación solar usada en salmueras no es posible (Bradley, Munk, Jochens, Hynek, & Labay, 2013).

⁵Se trata de AMG con su operación Mibra. La empresa ya construyó una planta de recuperación de espodumeno a partir de relaves existentes y futuros en sus operaciones de tantalio, logrando una producción estimada de 6 kt de LCE en 2020. Fuera de Mibra, solo se prevé el desarrollo de una operación adicional de este tipo durante la década: Zimbabwe Lithium en los relaves de Kamativi Sn, que podría comenzar en 2024.

b. Presupuesto de exploración

En el panel (a) de la Figura 12 se grafica el presupuesto global en exploración entre 2010 y 2022 y el precio promedio anual estimado del carbonato de litio. Como es de esperar, el precio tiende a actuar como un incentivo fuerte sobre la exploración, la cual ha crecido sostenidamente en los últimos tres años y especialmente en 2022 llegando a USD 467,4 millones, prácticamente doblando el presupuesto del año anterior. Considerando el total entre 2010 y 2022, vemos del panel (b) de la Figura que Argentina ha liderado en exploración con el 22% del total, seguido de Estados Unidos con 16%, Australia con 15%, Canadá con 12% y Chile, con el 9%.

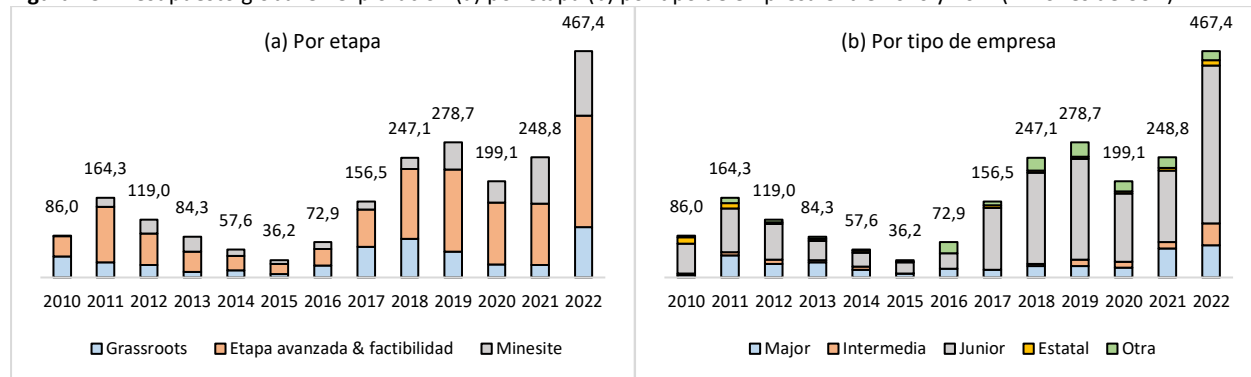
Figura 12: Presupuesto global en exploración (a) 2010 y 2022 (millones USD), y (b) por jurisdicción, promedio anual 2010-22



Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2022).

En la Figura 13 se ilustra el presupuesto global en exploración por etapa y por tipo de empresa entre 2010 y 2022. Vemos que por etapa destaca la exploración en etapas avanzadas y de factibilidad, concentrando el 55% del total entre 2010 y 2022. Desglosando por tipo de empresa, tal como ocurre con otros minerales, prevalece la exploración por parte de empresas junior, concentrando el 67% del total entre 2010 y 2022.

Figura 13: Presupuesto global en exploración (a) por etapa (b) por tipo de empresa entre 2010 y 2022 (millones de USD)



Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2022).

2. Producción por tipo de yacimiento

En la

Tabla 5 se sintetiza la producción de litio a partir de las dos fuentes de las cuales actualmente es explotado. Los datos muestran que en 2021 la producción a partir de pegmatitas y la de salmueras están relativamente equiparadas.

La producción de litio a partir de pegmatitas en relación a la de salmueras se ve favorecida por dos factores. Primero, un tiempo promedio de producción inferior. Segundo, del espodumeno es posible pasar directamente a la producción de hidróxido, sin necesidad de primer producir carbonato como ocurre en los depósitos de salmuera⁶. Como vimos en el capítulo de demanda, si bien en la actualidad el carbonato sigue siendo un producto más demandado que el hidróxido, en los últimos años el hidróxido ha ganado terreno entre los productores de baterías, lo que ha impulsado su demanda.

Ahora bien, una ventaja relevante del procesamiento de litio a partir de salmueras es que requiere de menos insumos. En efecto, a diferencia del tratamiento clásicamente minero de las pegmatitas (involucrando extracción, chanchado, molienda, flotación, calentamiento y lixiviación con ácido sulfúrico), el tratamiento de las salmueras es más bien de índole química (evaporación y precipitación). Luego, dependiendo en parte de las tasas de evaporación e impurezas de magnesio, calcio y otros elementos en el reservorio, el procesamiento de litio a partir de salmueras tiende a resultar menos costoso.

Tabla 5: Clasificación de la producción mina de litio

Tipo	Part. mundial 2021*	Método de extracción	Rango estándar** costos ('000 USD/t)		Tiempo est.	Subproductos típicamente asociados en yacimiento
			Carb.	Hidr.		
Pegmatitas	51%	Mina subterránea o rajo abierto	4,2-5,2	4,7-5,5	~2 meses	Estaño, tantalio, niobio
Salmueras	49%	Evaporación y precipitación	3,6-5,0	5,6-6,5	~18 meses	Potasio, bischofita, cloruro de sodio (halita), boratos

*Excluyendo unas 10 kt LCE de producción vía relaves en 2021.

**En base a Roskill (2020), sin incluir *royalties* y considerando operaciones de pegmatitas integradas (i.e. mina y planta química).

Fuente: Cochilco en base a BMI (2022) y Roskill (2020).

Al 2021, Australia contribuyó el 84% de la producción proveniente de yacimientos de espodumeno y otras pegmatitas. En paralelo, la producción a partir de salmueras provino principalmente de Chile con el 71% del subtotal, seguido de Argentina con el 12%, países que actualmente sólo producen litio a partir de esta categoría. Ahora bien, ambos países cuentan con otros recursos de litio. Chile en particular tiene litio en forma de arcillas y en yacimientos geotérmicos y Argentina cuenta con depósitos de espodumeno.

⁶ Luego del bombeo extractivo de las salmueras con concentraciones de 0,15-0,2% de litio y otras sales como calcio, boro, sulfato, cloruro, el agua es progresivamente evaporada hasta que queda una solución acuosa concentrada al 6% de litio. Luego se hace una extracción por solventes para minimizar el contenido de boro y se precipita con carbonato de sodio para minimizar el contenido de calcio y magnesio. Luego se precipita el magnesio con cal apagada (hidróxido de calcio). Finalmente, se carbonatiza la salmuera agregando carbonato de sodio, permitiendo precipitar el litio en forma de carbonato de litio. Para la producción de hidróxido de litio se efectúa una conversión del carbonato de litio agregando hidróxido de calcio (Parra, 2018).

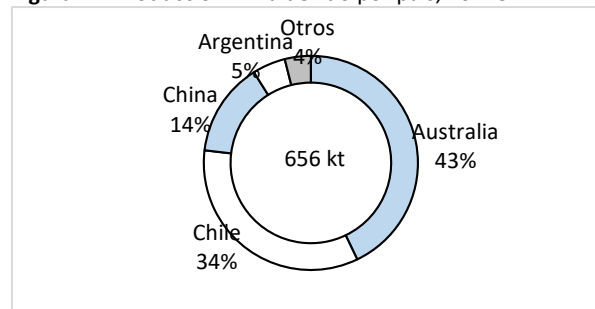
3. Participación de mercado

a. Por país

Según la Figura 14 a la derecha, se observa que al 2022 Australia es el principal productor de mina a nivel mundial, contribuyendo con cerca de la mitad de la producción mundial con 43%. Le sigue Chile con 34%, China con 14%, y Argentina con 5%.

Existen otras jurisdicciones con participaciones relativamente marginales, sumando en conjunto un 4% de la oferta agregada. En estas están Brasil, Estados Unidos, Portugal, Zimbabue y Canadá y Bolivia.

Figura 14: Producción mina de litio por país, 2022e



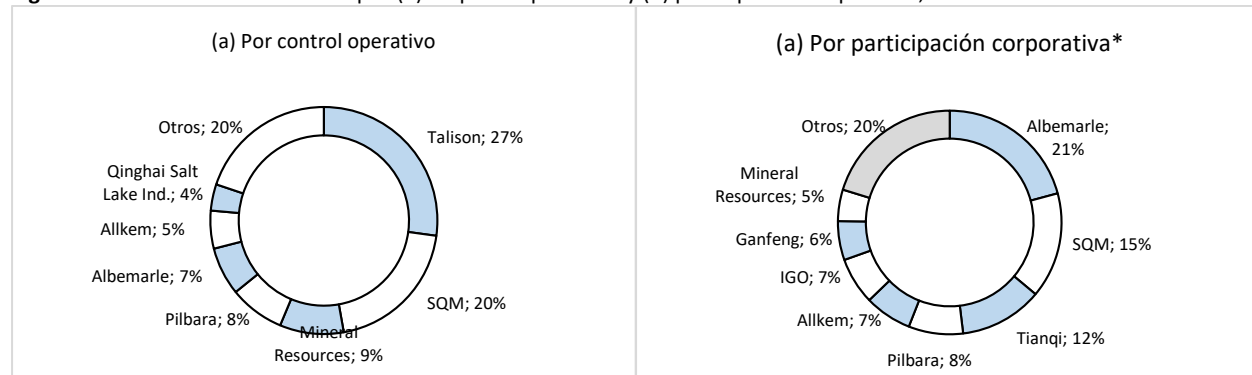
Fuente: Cochilco en base a BMI (2022).

b. Por empresa

Al revisar la participación de mercado por empresa, podemos hacer dos distinciones: En primera instancia, a través de las compañías a cargo de una determinada operación. Es decir, por empresa operadora. En segunda instancia, a través de las participaciones de las empresas controladoras sobre las operaciones⁷ y sobre otras empresas. Luego, a partir de la producción y la participación, podemos calcular la producción atribuible por empresa. En la Figura 15 se grafican ambas distinciones.

Actualmente Albemarle lidera la producción por control corporativo con cierta amplitud, posición que en gran parte viene dada fundamentalmente por su participación de 51% en la mayor faena de litio del mundo, Greenbushes en Australia Occidental, junto a su faena en el Salar de Atacama, Chile.

Figura 15: Producción mina de litio por (a) empresa operadora y (b) participación corporativa, 2021



*Considerando participación de empresas en proyectos (e.g. Tianqi en Talison, operadora de Greenbushes) y de empresas en empresas (Tianqi en SQM, Ganfeng en Lithium Americas y Pilbara Minerals).

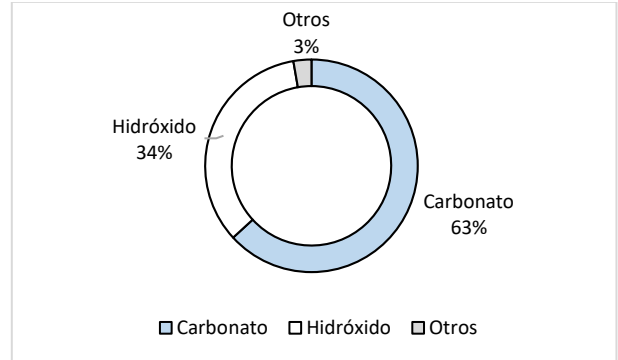
⁷ La distinción no es nimia y puede llevar a ciertas complejidades. Por ejemplo, durante 2020 Greenbushes, la mayor mina de litio en el mundo, era operada por Tianqi Lithium Australia (TLA, o Talison Lithium), compañía que a su vez pertenecía a Tianqi Lithium (51%) y Albemarle (49%). Sin embargo, en diciembre de 2020, Tianqi dio pie a un proceso de venta de un 49% de su participación en TLA a la empresa australiana IGO Ltd. Como resultado, actualmente Greenbushes pertenece en un 49% a Albemarle, un 25% a IGO Ltd (dado por la multiplicación del 49% adquirido sobre TLA) y un 26% a Tianqi (51%*51%).

Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2022).

4. Producción mina por compuesto químico

Como se observa en la Figura 16, se estima que en 2022 el 63% de la oferta química de litio derivada de producción mina correspondió a carbonato, seguido a distancia por hidróxido con un 34%. Ahora bien, como mencionamos en el capítulo sobre demanda, la producción de hidróxido ha tenido una evolución creciente en el tiempo, tendencia que se espere continúe en el futuro. Con esto, es de esperar que la producción de hidróxido y carbonato tiendan a equipararse hacia 2035.

Figura 16: Producción mina por composición química, 2022e



Fuente: Cochilco en base a BMI (2022).

5. Costos de producción

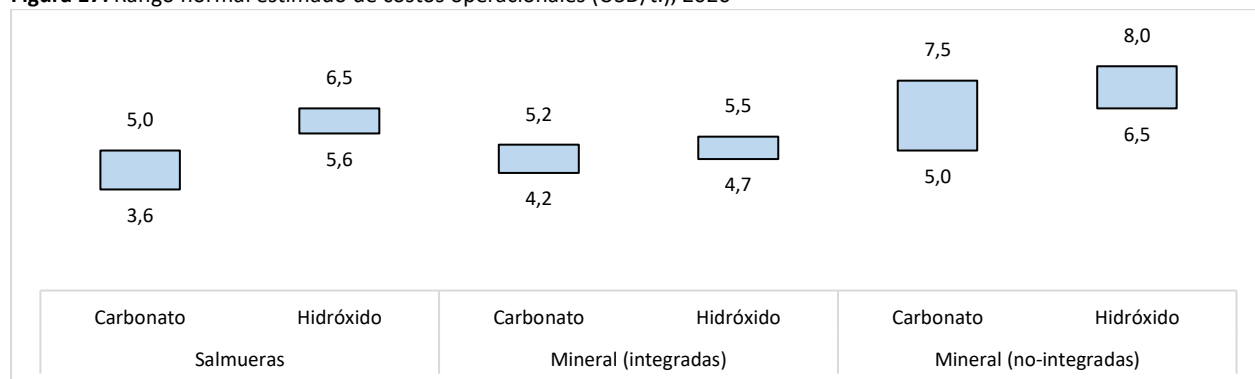
a. Rango de costos estimados

Como se ilustra en la Figura 17, en general los costos operacionales varían significativamente según el tipo de producto final, sea carbonato o hidróxido de litio, y el tipo de operación considerada, sean de salmueras o bien de mineral de roca. Las operaciones de mineral de roca pueden estar integradas entre la producción mina y su planta química o no, es decir, típicamente venden espodumeno a terceros para su procesamiento químico en carbonato o hidróxido.

Considerando las estimaciones de Roskill (2020), se observa que son precisamente las faenas no-integradas las que tienden a presentar los mayores costos operacionales tanto para la producción de carbonato, típicamente situándose entre USD/t. 5.000-7.500, como de hidróxido, entre USD/t 6.500-8.000, situación que se debe en parte a los mayores costos de transporte enfrentados.

Ahora bien, en lo que respecta a los costos de las operaciones de salmueras en relación a las de mineral de roca integrada, la situación es disímil según el tipo de producto. En particular, la producción de carbonato de litio a partir de salmueras tiende a fluctuar entre USD/t 3.600-5.000, lo que la hace menos costosa en relación a las operaciones integradas a partir de mineral de roca, cuyos costos normalmente van entre USD/t 4.200-5.200. Esto se debe en parte a la naturaleza menos intensiva en trabajo y capital de las operaciones de salmueras.

Por otro lado, vemos que la producción de hidróxido de litio tiende a ser menos onerosa en las operaciones integradas de mineral de roca, con costos operacionales entre USD/t. 4.700-5.500 frente a un rango de USD/t. 5.600-6.500 en las de salmuera. Esto se atribuye fundamentalmente a que los productores de hidróxido a partir de mineral de roca no requieren producir primero carbonato de litio para luego convertirlo a hidróxido, que es lo que sucede con los productores a partir de salmueras.

Figura 17: Rango normal estimado de costos operacionales (USD/t.), 2020

Nota: No se incluyen royalties ni impuestos a las ganancias.

Fuente: Cochilco en base a Roskill (2020).

b. Desagregación por insumo

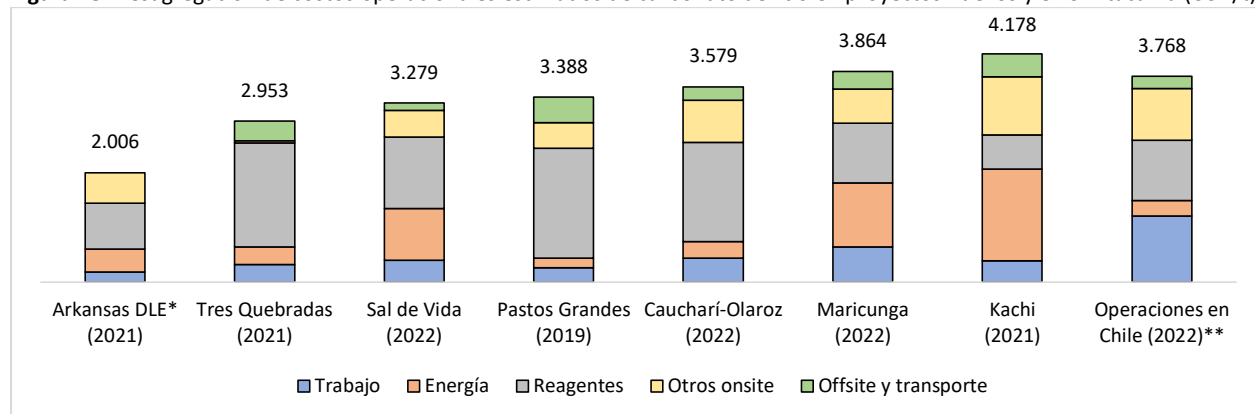
En general las estructuras de costos varían dependiendo del tipo de operación, lo que a su vez es fruto de la naturaleza de cada tipo de yacimiento. Como mencionamos previamente, mientras que los depósitos de salmueras requieren de un proceso eminentemente químico para separar el litio de las sales minerales, los depósitos de mineral de roca siguen una línea productiva tradicionalmente minera, involucrando extracción, chanchado, molienda, flotación, calentamiento y lixiviación con ácido sulfúrico. Como resultado, los insumos, tiempos y demás costos involucrados fluctúan significativamente.

En la Figura 18 se ilustran los costos productivos de carbonato de litio proyectados a partir de los reportes técnicos NI 43-101 de siete proyectos nuevos y, finalmente en la última columna, para las operaciones ya activas en Chile estimados a partir de los costos operacionales de Albemarle en el Salar de Atacama.

Vemos que los reagentes químicos (principalmente carbonato de sodio utilizado en planta para minimizar el contenido de calcio y magnesio, y en menor medida hidróxido de sodio, óxido de calcio o cal y ácido sulfúrico), que son usados para convertir los minerales concentrados en compuestos químicos de litio, son el principal costo en las operaciones de salmueras⁸, concentrando el 44% del total según estimaciones de S&P Global (2022), entre 28-40% para los proyectos de Maricunga y Sal de Vida y 50% y 65% para los proyectos Caucharí-Olaroz, Pastos Grandes y Tres Quebradas.

Por otra parte, en las operaciones de roca priman los costos de extracción y procesamiento del mineral (Pilbara Minerals, 2017). La Figura 19 ilustra los costos operaciones de siete proyectos nuevos de concentrado de espodumeno al 6%, a partir de cual se puede producir hidróxido de litio. Se observa que en general el principal gasto corresponde a la extracción minera, sea en minas subterráneas o de rajo abierto, seguido de gastos de procesamiento.

⁸ De acuerdo a estimaciones para el proyecto Salar Blanco, más del 90% de los costos químicos corresponden a carbonato de sodio y ácido hidrocórico. Para producir una tonelada de carbonato de litio se requieren unas dos toneladas de carbonato de sodio (WorleyParsons, 2022).

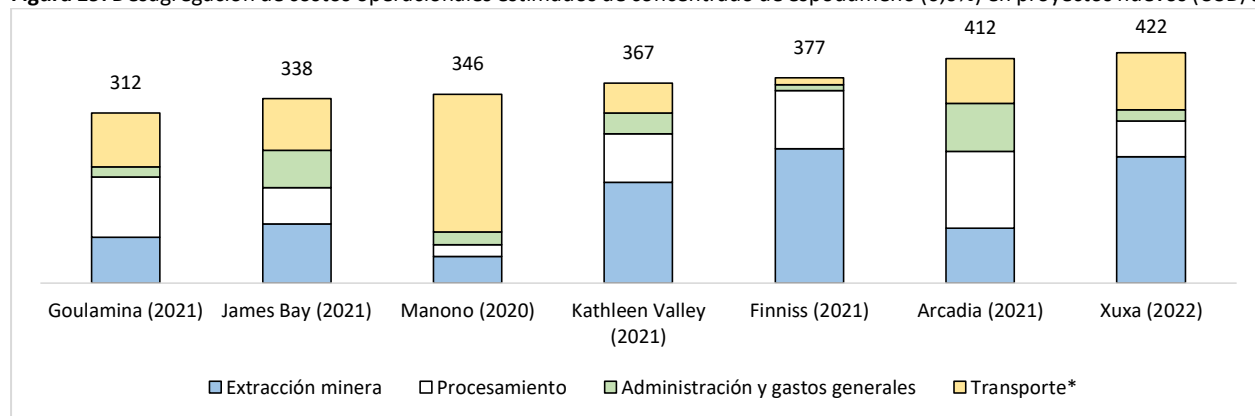
Figura 18: Desagregación de costos operacionales estimados de carbonato de litio en proyectos nuevos y en S. Atacama (USD/t)

*El producto final es hidróxido de litio a partir de producción vía DLE. Sus costos de transporte se incluyen en reagentes y se asume que el costo de flete se incluye en los contratos del comprador.

**En base a SEC Technical Report de Albemarle a Securities Exchange Commission (Albemarle, 2022).

Nota: Costos onsite incluyen costos de mantención, tratamiento de aguas, relaves, remoción de desechos, entre otros. Costos offsite incluyen costos generales de administración. No se incluyen royalties, concesiones, ni costos por transporte marítimo.

Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2022), Andeburg Consulting Services (2019), WorleyParsons (2022), Millennial Lithium Corp. (2019) Standard Lithium (2021), Neo Lithium Corp. (2021) Gunn Metallurgy (2022), Albemarle (2022).

Figura 19: Desagregación de costos operacionales estimados de concentrado de espodumeno (6,0%) en proyectos nuevos (USD/t)

En los casos de Finniss (concentrado 5,8%) y James Bay (5,6%) se ajustaron los costos operaciones para concentrado de 6%.

Fuente: Cochilco en base a AVZ Minerals (2020), Allkem (2021), Firefinch (2021), Core Lithium (Core Lithium, 2021) Prospect Resources (2021), Lontown Resources (2021), Bloomberg (2022).

Con todo, se debe hacer hincapié en que en estas figuras no estamos incluyendo *royalties* y tributos en general, cuestión que ha tenido un impacto significativo en Chile a raíz de las comisiones y rentas de arrendamiento aplicados por la renegociación de los contratos de arriendo entre Corfo y Albemarle en 2016 y luego con SQM en 2018, así como en Argentina a partir de la introducción de aranceles de exportación o retenciones a una serie de productos, incluyendo químicos de litio.

6. Proyección de la producción de litio mina al 2035

a. Criterios metodológicos

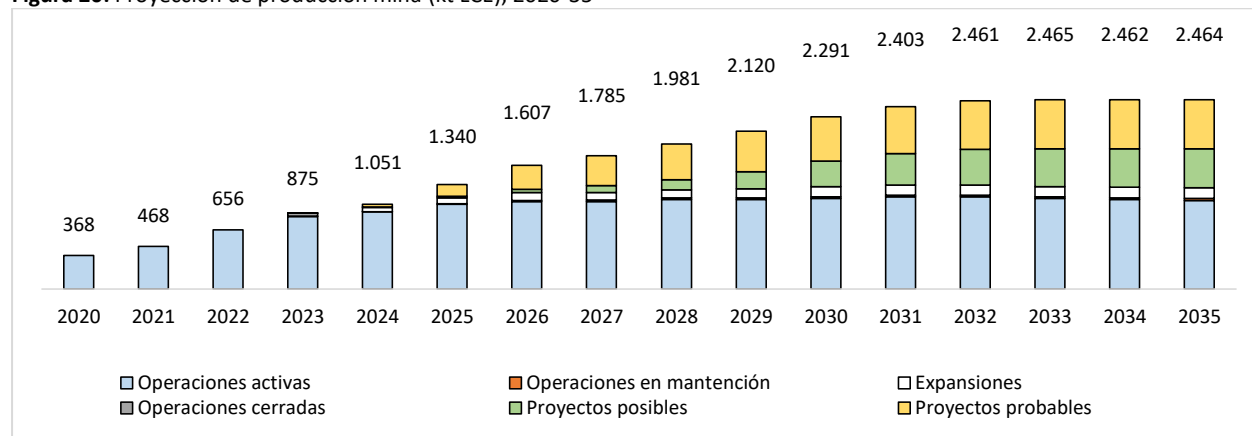
A fin de estimar la producción mina, se parte de la base de la proyección realizada por BMI (2022) para cada operación de litio actualmente operando así como de proyectos con entrada probable o posible de operar en los próximos años, además de incorporar las proyecciones para las operaciones en Chile.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** ilustra la producción mina esperada. Comparando 2020 con 2021, se observa como la oferta creció de 368 a 468 kt LCE, es decir, un 27%. Por otro lado, proyectando hacia el futuro, se destaca en primer lugar el salto esperado en la producción que pasaría a 2.464 kt LCE en 2035, lo que arroja un crecimiento promedio anual compuesto de 12,6% respecto de 2021.

Este incremento está fuertemente asociado a la entrada operacional de proyectos nuevos, considerando tanto los posibles como los probables (incluyendo altamente probables). En efecto, estimamos que al 2035 los proyectos probables contribuyan con 920 kt LCE, lo que sería equivalente al 37% de la producción mina agregada. Al sumar los proyectos posibles, se llega a 1,35 Mt LCE, equivalente al 55% del total proyectado.

Por otra parte, las operaciones actualmente activas seguirían siendo relevantes, aunque con una participación naturalmente a la baja. En conjunto se espera que incrementen su producción desde la base de 468 kt LCE en 2021 a 975 kt LCE hacia 2035, equivalente al 40% de la producción mina agregada. Si se agregan las expansiones brownfield proyectadas y la producción marginal por operaciones actualmente en mantención, se alcanzan 140 kt LCE adicionales, equivalente a un 6% del total.

Figura 20: Proyección de producción mina (kt LCE), 2020-35



Fuente: Cochilco en base a BMI (2022).

7. Producción nacional de litio

a. Crecimiento en capacidad y en producción de operaciones existentes

En Chile se encuentran dos empresas productivas, SQM y Albemarle, ambas con operaciones en el Salar de Atacama, el mayor reservorio de litio en forma acuífera a nivel mundial. En línea con las modificaciones contractuales iniciadas por Corfo y suscritas en 2016 con Albemarle y luego con SQM en 2018, tras un extenso arbitraje por cerca de 5 años, ambas empresas han dado pie a expansiones de capacidad y

producción, a los cuales se han sumado expansiones y planes de desarrollo propios de las empresas. Su desarrollo más reciente se resume en la Tabla 6.

Tabla 6: Principales proyectos de explotación de litio de SQM y Albemarle en Chile en factibilidad o más y con ingreso al SEA:

Proyecto	Operador	Ubicación	Capacidad anual (kt/a)		Etapa	Estado SEA	Inv. Est. (mill. US\$)
			Carbonato	Hidróxido			
Ampliación Salar del Carmen	SQM	Salar de Atacama	Fase I: Δ^+ a 58 Fase II: Δ^+ a 70	Fase I: Δ^+ a 16 kt Fase II: Δ^+ a 24 kt (nueva planta) Fase III: Δ^+ a 32 kt (nueva planta)	En operación	DIA Aprobado (2017)	180
Ampliación Planta Carbonato 180 kt/a	SQM	Salar de Atacama	Fase I: Δ^+ a 110 Fase II: Δ^+ a 180	-	En operación	DIA aprobado (2019)	450
Aumento de Capacidad y Optimización Planta Carmen	SQM	Salar de Atacama	Δ^+ a 210 Nueva planta dual 60 kt: Δ^+ a 270	Δ^+ a 40 kt Δ^+ a 100 kt (a partir de nueva planta dual 60 kt)	En construcción	DIA aprobado (2022)	1.400
Ampliación Planta Carbonato La Negra Fase III/IV	ALB	Salar de Atacama	Δ^+ a 88 kt	-	En operación	DIA Aprobado (2017)	300

Fuente: Cochilco en base al Servicio de Evaluación Ambiental y reportes de las empresas.

Como se desprende de la tabla, tanto SQM como Albemarle han logrado avances significativos en su expansión productiva. Se espera que algunas de estas continúen hasta 2025 en el caso de SQM Salar, y 2023 en el caso de Albemarle. A continuación se describe el estado de avance proyectado a partir de los reportes trimestrales de ambas empresas.

Salar de Atacama (SQM Salar)

- Por el lado del carbonato de litio, cabe recordar que en su reporte del tercer trimestre de 2021, SQM (2021) informó haber alcanzado una capacidad de 120 kt de carbonato, con el objetivo de aumentar la capacidad a 180 kt de carbonato al 2022, objetivo que efectivamente se cumplió a fines de 2022. Actualmente la empresa está trabajando para incrementar gradualmente su capacidad instalada hasta las 270 kt/a en línea a través de su proyecto “Aumento de Capacidad y Optimización Producción Planta de Litio Carmen”, que obtuvo su RCA favorable el 21 de octubre de 2022.
- Por el lado del hidróxido de litio, en 2022 SQM materializó la tercera fase de su plan de su Ampliación en el Salar del Carmen con la cual llegó a una capacidad de producción de hidróxido de 32 kt/a. Sumado a esto, el 16 de noviembre el Directorio aprobó la ampliación de capacidad de hidróxido nacional hasta 100 kt/a, lo cual requerirá una inversión total de US\$ 360 millones adicionales al plan de gasto previamente anunciado. Se espera que este incremento esté en funcionamiento en 2025 (SQM, 2023). Esto se suma al anuncio de septiembre de 2022 sobre la compra de una planta en China para producir hasta 30 kt de hidróxido de litio a partir de sulfato de litio de Chile. Así, entre la capacidad nacional y en China (a partir de la producción de sulfatos), SQM tendrá una capacidad proyectada de 130 kt de hidróxido de litio.
- Por último cabe señalar que en septiembre SQM anunció el proyecto de innovación sostenible, Salar Futuro, con una inversión de alrededor de US\$ 1.500 millones, desarrollaría nuevas tecnologías para extraer litio, lo que, de acuerdo a la empresa, implica reducir el uso de agua dulce en 50%, además de alcanzar la carbono neutralidad (Guerrero, 2022). También apuesta por fomentar el encadenamiento

productivo en torno a componentes de baterías de litio, baterías, reciclaje y reutilización, en alianza con universidades regionales y centros tecnológicos (SQM, 2022b). Sin embargo, este plan aún no ingresa a evaluación ambiental, requiriendo, además, de la aprobación de CChEN para la extracción y comercialización de litio, y ante todo, el posible acuerdo para una eventual extensión del arriendo de las pertenencias en el Salar de Atacama, el cual vence en 2030.

Salar de Atacama (Albemarle)

- El 13 de junio de 2022 Albemarle informó que terminó la ampliación de su planta de conversión química a carbonato La Negra III/IV en Antofagasta, con la cual incrementaría su capacidad anual por sobre las 80 kt/a. A través de las mejoras tecnológicas implementadas, la empresa espera doblar la producción y reducir el consumo de agua dulce en hasta un 30% (Albemarle, 2022b).
Igualmente, Albemarle espera completar su proyecto de Salar Yield Improvement Plan (SYIP) a mediados de 2023, que mejoraría la eficiencia de recuperación de litio a través de molienda mecánica y filtrado de sales en dos nuevas plantas, litio-carnalita y litio-bischofita (Albemarle, 2022a; 2022c).

b. Estrategia Nacional del Litio

El 20 de abril de 2023 el gobierno dio a conocer la Estrategia Nacional del Litio, la que contiene ocho hitos principales:

- Creación Comité Estratégico de Litio y Salares dirigido por un Consejo Estratégico, el que será liderado por el Ministerio de Minería y en el que participen también las carteras de Hacienda, Economía, Relaciones Exteriores, Medio Ambiente y Ciencias, además de Corfo, con el objetivo de conducir la implementación de las diversas acciones contempladas en la Estrategia. Desde esta instancia se establecerán las coordinaciones con otras carteras, instituciones públicas, gobiernos regionales y sector privado. Para este efecto se ocupará la figura de un Comité Corfo, lo que permitirá también impulsar políticas de desarrollo científico-tecnológico e industriales que permitan desarrollar nuevas actividades productivas aguas arriba y abajo en el ciclo del litio, así como de identificar y aprovechar oportunidades de encadenamientos y agregación de valor a nivel local en la industria.
- Creación de la Empresa Nacional del Litio, que participe en todo el ciclo industrial del litio, y se asocie con privados para el desarrollo sostenible de proyectos de exploración, explotación, agregación de valor, y fomento de desarrollo tecnológico.
- Asociación de Codelco con privados para explotar el Salar de Atacama tras la expiración del contrato de arrendamiento entre Corfo y SQM Salar en 2030. Codelco tendría el control corporativo
- Prospección de otros salares para catastrar los recursos de litio disponibles y de esta manera generar las condiciones para su potencial extracción en forma sostenible. No deben incluirse aquellos que se encuentren en la red de salares protegidos.
- Iniciar un proceso de diálogos y participación multi-actor, incluyendo a representantes de comunidades y pueblos indígenas, academia, empresas, sociedad civil y organismos públicos.
- Creación de una Red de Salares Protegidos de al menos un 30% de la superficie y uso de tecnologías de bajo impacto ambiental como la extracción directa con reinyección de salmuera (DLE/R) y reducción de uso de agua fresca en aquellos que sean explotados.
- Modernización del marco institucional, incluyendo la revisión normativa de organismos fiscalizadores y relación entre gobiernos regionales y comunales

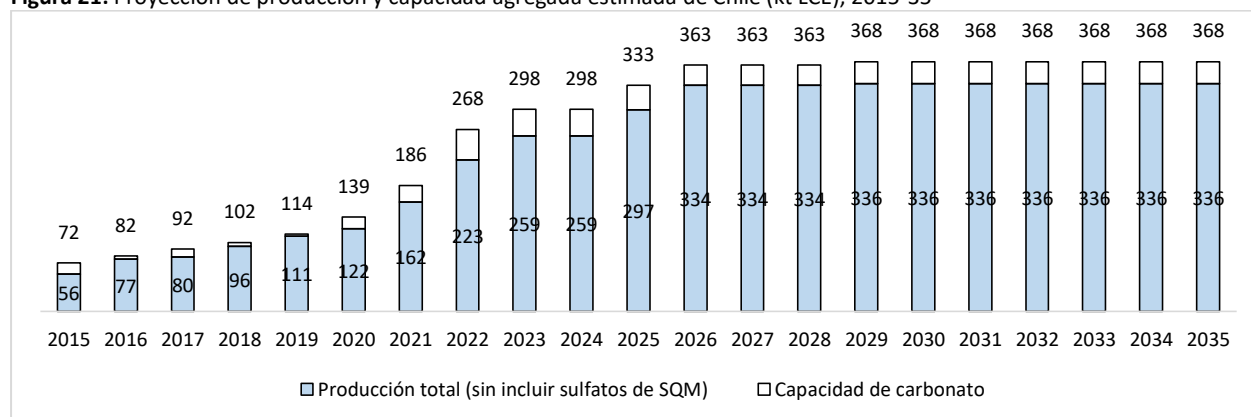
- Creación de un Instituto Tecnológico y de Investigación Público de Litio y Salares.

c. Producción y capacidad agregada

Con todo, la Figura 21 a continuación ilustra los aumentos de capacidad de producción estimada así como la producción nacional hasta 2035. Como vemos, esperamos que la capacidad agregada de carbonato de litio equivalente se incremente desde unas 186 kt en 2021 hasta unas 368 hacia fines de la década. Como resultado, la producción se incrementaría desde 162 kt LCE en 2021 a unas 336 kt LCE desde 2029 en adelante.

Para esta proyección, suponemos que en el Salar de Atacama se mantiene la producción conforme a los planes ya aprobados. Además, como se mencionó previamente, consideramos la producción inicial en el Salar de Maricunga a partir de 2025. Si bien esto aún es un tema sujeto a una alta incertidumbre, su impacto sobre la capacidad agregada nacional no es particularmente alto en relación a las operaciones de SQM y Albemarle. En efecto, se trata de un proyecto con una capacidad inicial de 15 kt/a, lo que equivaldría a un 4% de la capacidad nacional proyectada con posterioridad luego de 2028.

Figura 21: Proyección de producción y capacidad agregada estimada de Chile (kt LCE), 2015-35*



*Sin considerar producción de sulfatos de litio para su conversión a Hidróxido de Litio.

Fuente: Cochilco.

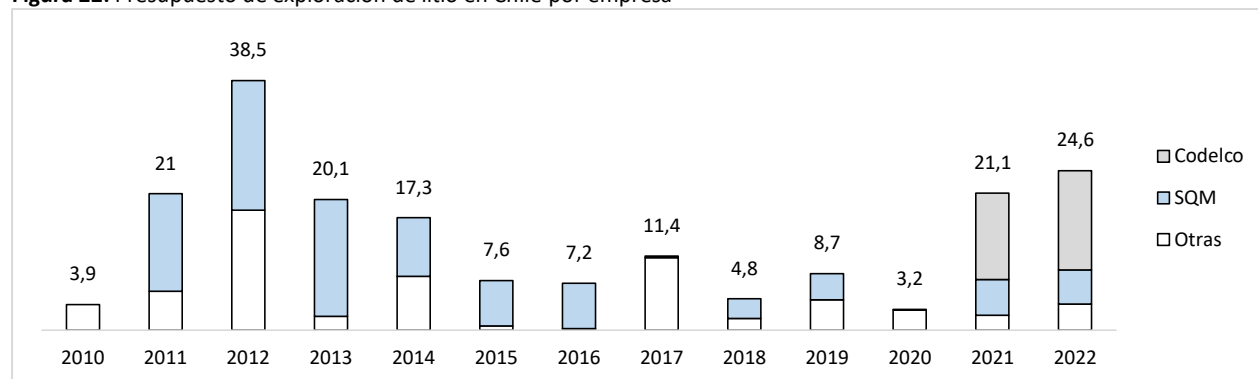
d. Presupuesto de exploración nacional

Vimos anteriormente, según datos de S&P Global Intelligence (2022), entre 2010 y 2022 Chile ha recibido el 9% del presupuesto de exploración global en litio, ubicándose en el quinto lugar mundial, detrás de Argentina, Estados Unidos, Australia y Canadá.

Al desglosar este presupuesto nacional anual por empresa, se desprende de la Figura 22 que entre 2010 y 2020 SQM lideró a nivel nacional, siendo responsable del 58% del presupuesto agregado. En los últimos dos años, sin embargo, Codelco registró USD 13,3 millones en 2021 y USD 15,3 millones en 2022, equivalente al 63% del presupuesto total nacional del sub-periodo. SQM por su parte ha contribuido USD 18,8 millones en 2021-22, equivalente al 24% del total.

El surgimiento de Codelco en los últimos dos años da cuenta del interés sobre el Salar de Maricunga, reservorio que la empresa recibió en noviembre de 2020 su RCA para explorar, y que comenzó a explorar en febrero de 2022 a través de su empresa filial Salar de Maricunga SpA.

Figura 22: Presupuesto de exploración de litio en Chile por empresa



Fuente: Cochilco en base a S&P Global Intelligence (2022).

e. Exportaciones nacionales de litio

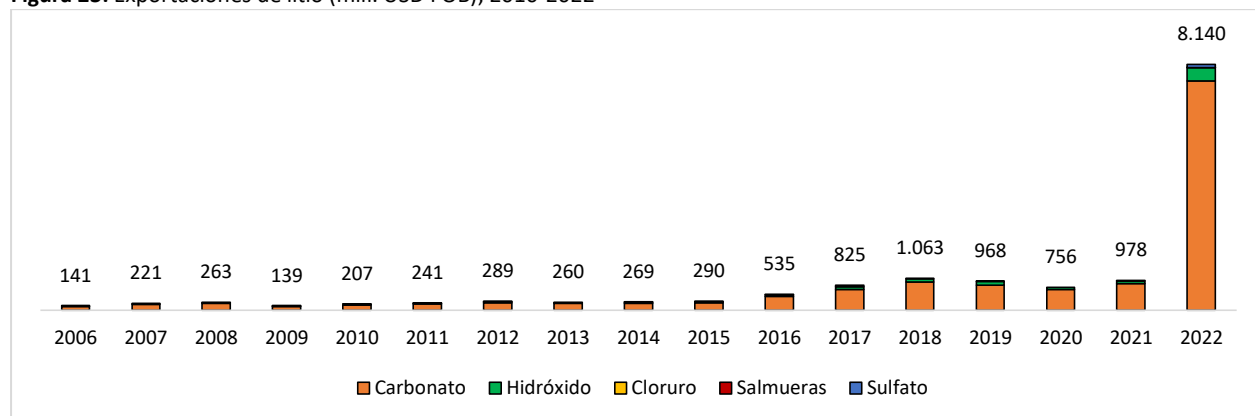
• Evolución históricas de las exportaciones de litio

La Figura 23 ilustra la evolución de las exportaciones de sustancias de litio entre 2010 y 2022, obtenidas a partir de datos de comercio exterior de Chile. En línea con la producción, no sorprende que el carbonato sea el principal producto de litio exportable, registrando el 90% del valor total de las exportaciones a lo largo del periodo 2010-2022 y 93% a partir de 2020. Le sigue el hidróxido de litio con 8% en todo el periodo 2010-2022 y 6% a partir de 2020, y finalmente otros productos, que incluyen mayormente sulfatos y en menor medida cloruro y salmueras de litio⁹, con una participación marginal remanente.

Se observa que entre 2015 y 2018 las exportaciones se incrementaron desde los USD 290 millones hasta sobre los USD 1.000 millones. Es decir, prácticamente se cuadruplicaron en cuatro años. Esto se atribuye en primer lugar a un alza en los precios del litio a nivel mundial, en segundo lugar a un crecimiento en la producción y cantidades exportadas por Chile, y finalmente a una pureza ligeramente superior de los productos producidos y exportados, lo que ha permitido acceder a mejores precios.

Ahora bien, en los tres años siguientes al sub-periodo 2015-18, es decir entre 2019 y 2021, se registró una caída conforme disminuyeron los precios transados para luego dispararse con fuerza a lo largo de 2022, año en que en las exportaciones alcanzaron USD 8.140 millones. Esto es mayor a la suma de las exportaciones de los 15 años anteriores.

⁹ Cabe señalar que desde 2018 las salmueras dejaron de registrar exportaciones, solo permitiéndose con fines de muestras en cantidades altamente limitadas. Esto está alineado con la prohibición contractual establecida en los contratos de Corfo con Albemarle y SQM de no comercializar productos de bajo valor agregado, explícitamente incluyendo salmueras (Corfo, 2016; Corfo, 2018).

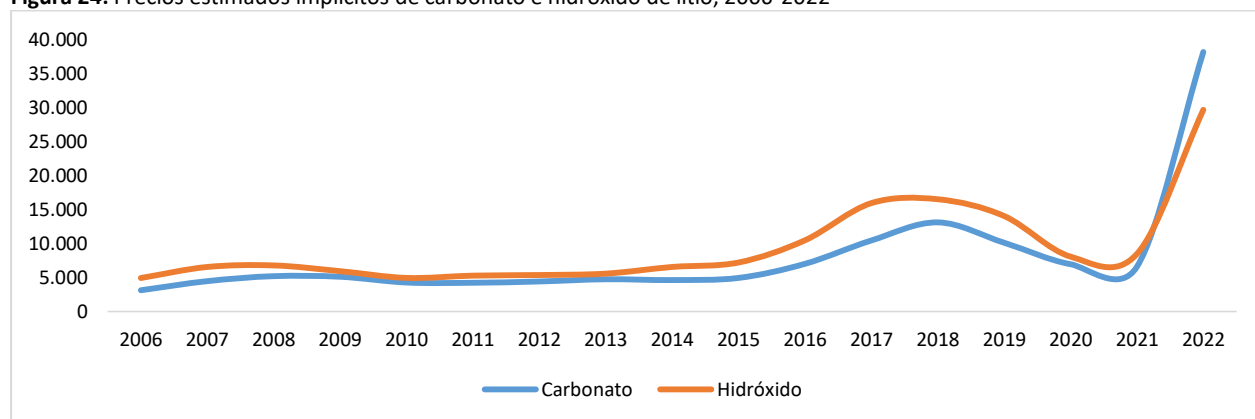
Figura 23: Exportaciones de litio (mill. USD FOB), 2010-2022

Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2022).

En esta línea, la Figura 24 ilustra la evolución de los precios implícitos medios de carbonato e hidróxido de litio entre 2006 y 2022 estimados a partir del cociente entre las exportaciones medidas en dólares FOB y su medición correspondiente en toneladas según datos de comercio exterior disponibles en Thomson Reuters (2022). Ahora bien, estos no corresponden a precios spot en tanto involucran contratos con plazos previamente acordados, entre otras condiciones relevantes de venta. En consecuencia, deben interpretarse con un carácter meramente referencial.

Con todo, como se desprende de la Figura, los precios implícitos crecieron desde un promedio de USD/t 6.586 y 8.471 en 2021 a USD/t 38.204 y USD/t 29.690 en 2022 para el carbonato y el hidróxido respectivamente. Es decir, se multiplicaron por un factor de entre 4 y 6 veces en apenas un año. En paralelo, si bien no se refleja en la gráfica, cabe señalar que al comparar entre el primer trimestre de 2021 y el cuarto trimestre de 2022, se encuentran diferencias mayores. En efecto, vemos un crecimiento desde USD/t 5.353 a USD/t 41.709 (aproximadamente unas 8 veces) para el carbonato y de USD/t 8.011 a USD/t 40.418 para el hidróxido (unas cinco veces).

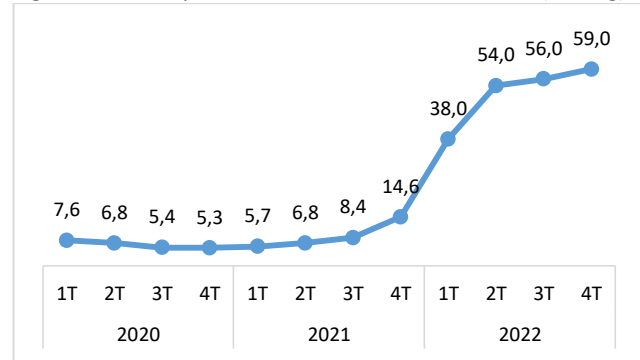
De esta manera, la Figura 24 encuentra su correlato con las exportaciones en dólares FOB de la Figura 23 previamente expuesta. Esencialmente, si bien las cantidades exportadas han crecido a partir de una mayor producción, los precios han sido el principal factor que explica los movimientos en las exportaciones totales.

Figura 24: Precios estimados implícitos de carbonato e hidróxido de litio, 2006-2022

Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2022).

Por último, cabe señalar que el incremento de los precios implícitos de exportación nacionales está relativamente alineado con lo informado por SQM en sus reportes trimestrales. Como se observa en la Figura 25 a la derecha, los precios promedio trimestrales de venta de SQM Salar se han incrementado desde USD/t 5.700 en el primer trimestre de 2021 hasta USD/t 59.000 en el cuarto trimestre de 2022. Es decir, casi se han multiplicado por un factor de 10 veces en menos de dos años.

Figura 25: Precio promedio trimestral de litio de SQM (US\$/kg)



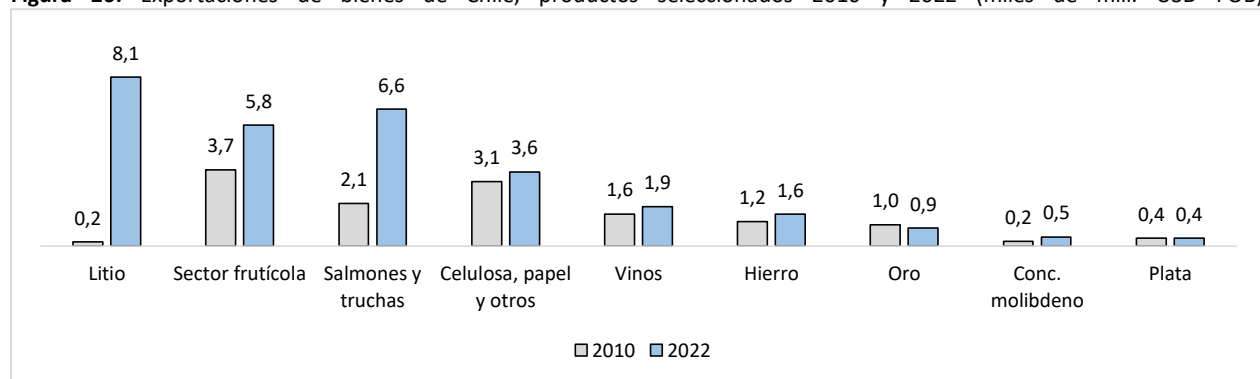
Fuente: SQM (2022a; 2023).

- Exportaciones de litio en relación a otros productos**

El litio se ha convertido en una industria significativa para Chile representando el 8,3% de las exportaciones totales de bienes en 2022. Con esto, como se ve en la Figura 26, ha llegado a superar a las exportaciones de industrias consolidadas como la frutícola y la salmonicultura. Más aún, prácticamente ha doblado al sector de celulosa, papel y otros y más que ha triplicado a la industria vitivinícola.

Más aún, en relación a otros minerales, vemos que ha superado con amplitud al hierro y el oro, otrora los dos mayores sectores mineros del país luego del cobre. No obstante, si bien no se expone en la gráfica, el cobre naturalmente continúa siendo el producto principal del país, con exportaciones de USD 44.662 miles de millones en 2022 (Banco Central de Chile, 2023), lo que equivale a unas cinco veces las exportaciones de litio.

Figura 26: Exportaciones de bienes de Chile, productos seleccionados 2010 y 2022 (miles de mill. USD FOB)



Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2022) y Banco Central de Chile (2023).

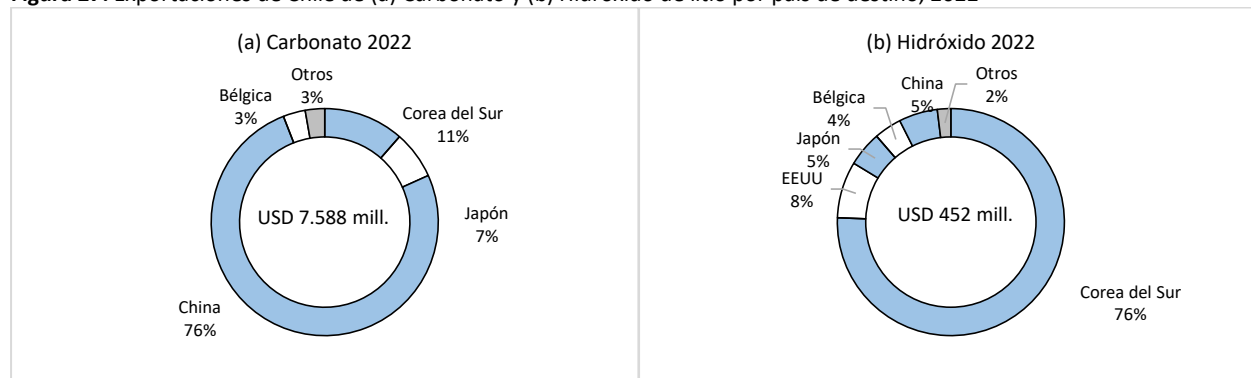
- Exportaciones de litio por país de destino**

La Figura 27 más abajo muestra los principales países de destino de las exportaciones de carbonato e hidróxido de litio durante 2022. En ambos productos vemos que las exportaciones se han dirigido preponderantemente a Asia. Específicamente, en el caso del carbonato, se dirigieron en un 76% a China,

11% a Corea del Sur y 7% a Japón. Para el caso del hidróxido, Corea del Sur ha sido el principal país de destino con un 76% del total. Le sigue EE.UU., con 8%, Japón, con 5%, y Bélgica, con 4%.

Esto se explica desde luego por el hecho de que los fabricantes de baterías de ion-litio se encuentran principalmente en el noreste de Asia, de manera que es natural que los países de esta región sean los principales compradores.

Figura 27: Exportaciones de Chile de (a) Carbonato y (b) Hidróxido de litio por país de destino, 2022



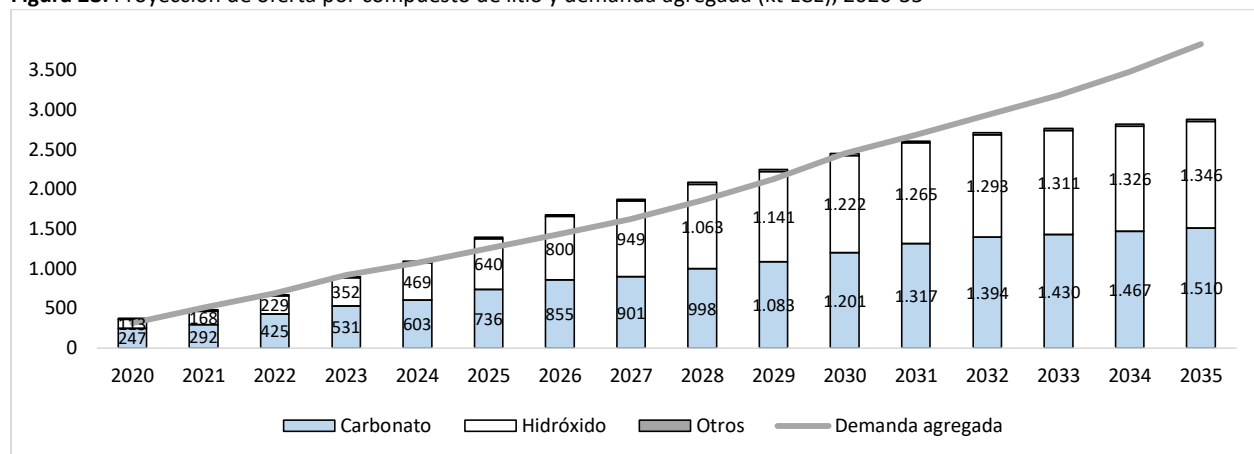
Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2022).

IV. Balance y precios

1. Balance 2020-2035

En la Figura 28 se ilustra la proyección de oferta por compuesto de litio y la demanda agregada de litio. Se ve como el mercado se encuentra en una situación de relativa estrechez en 2022, situación que persistiría hasta 2024. A partir de los incrementos esperados en producción mina, esperamos que esta situación logre revertirse en los próximos hasta 2026-2027, para posteriormente entrar nuevamente en una situación de creciente estrechez y, finalmente, un déficit entre oferta y demanda a partir de 2030.

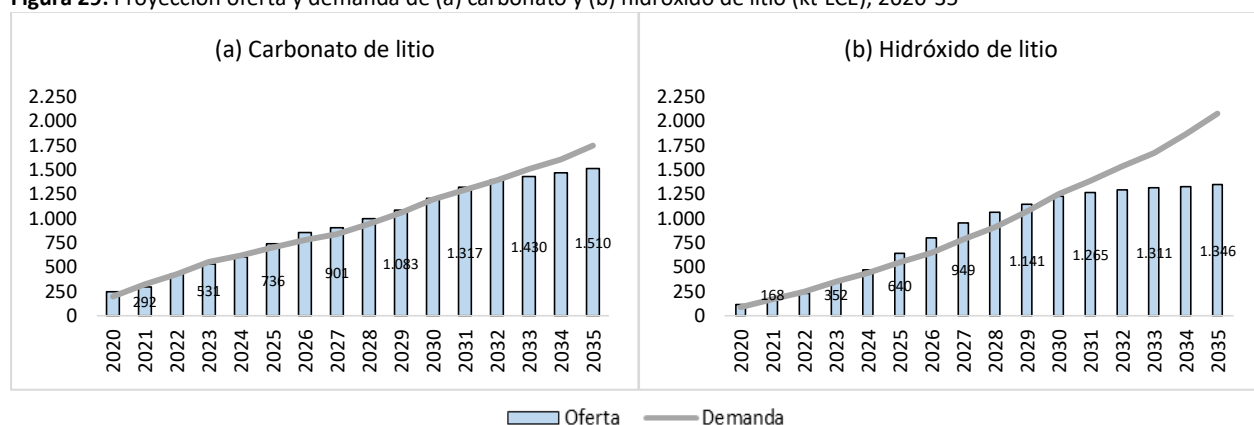
Naturalmente esto dependerá fuertemente del avance y materialización de los proyectos por el lado de la oferta como de las ventas de vehículos eléctricos por el lado de la demanda. Cualquier interrupción o diferencia relevante en alguno de estos factores inevitablemente supondrá desviaciones en el balance. Al tratarse de una industria aún inmadura, las proyecciones presentan un riesgo relativamente alto. Como resultado, el balance de mercado debe interpretarse bajo este grado de incertidumbre.

Figura 28: Proyección de oferta por compuesto de litio y demanda agregada (kt LCE), 2020-35

Fuente: Cochilco.

Separando las categorías de carbonato e hidróxido de litio, vemos de la Figura 29 que, si bien tanto el carbonato como el hidróxido se encontrarían en situación de déficit creciente entrando en la siguiente década, el déficit proyectado es superior para el hidróxido. En efecto, esperamos que el hidróxido enfrente una persistente situación de escasez a partir de 2030, llegando a unas 726 kt hacia 2035. Esto es mayor a toda la producción de litio de 2021 y unas 4,5 veces la producción de hidróxido de dicho año. A ese mismo año, el carbonato de litio por su parte llegaría a un déficit de 234 kt. En suma, habría un déficit total de unas 960 kt LCE hacia 2035.

Naturalmente, esto implica una mayor presión sobre la producción a partir de mineral de roca y posiblemente también una mayor conversión de carbonato a hidróxido, situación que potencialmente induciría a mayores precios en ambos productos. Esto acentuaría los incentivos para materializar expansiones y proyectos nuevos. En este contexto, la velocidad con que la oferta sea capaz de responder a la demanda esperada continúa siendo la mayor preocupación del mercado.

Figura 29: Proyección oferta y demanda de (a) carbonato y (b) hidróxido de litio (kt LCE), 2020-35

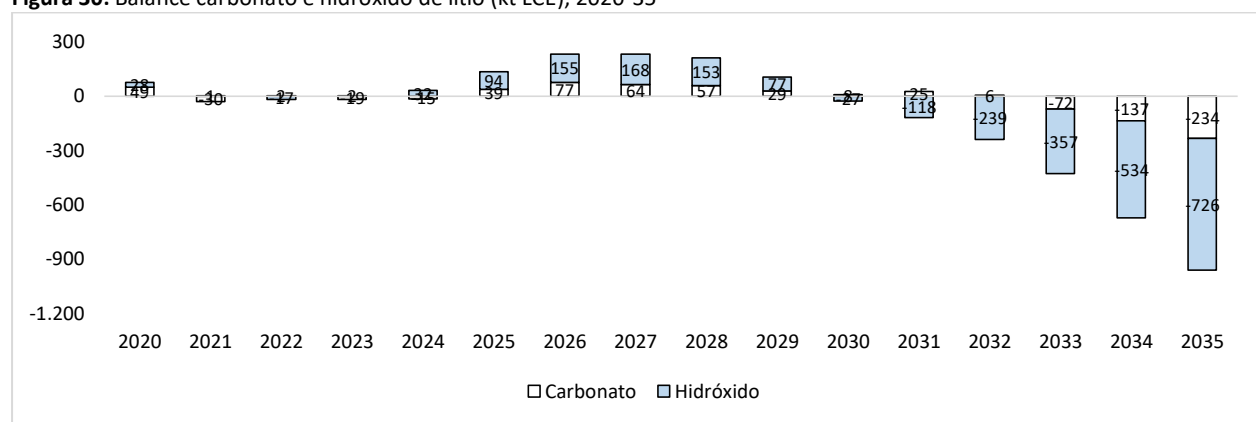
Fuente: Cochilco.

La Figura 30 sintetiza los paneles de la Figura 29 previamente expuesta, explicitando los crecientes déficits anuales a partir de 2030 para el hidróxido y el carbonato. Ahora bien, cabe hacer la precaución de que mientras más lejos proyectamos en el tiempo, más riesgo inherente contiene la proyección. En el caso de

la producción mina, es esperable que, a medida que el mercado avance y los precios incentiven la materialización de la inversión, se integren progresivamente más proyectos al portafolio de inversiones y eso contribuya a reducir los eventuales déficits.

Por último, cabe agregar que algunas agencias de mercado prevén déficits aún antes de 2030. BMI (2022), por ejemplo, espera en su escenario base un déficit total de 159 kt al 2030, para luego crecer hasta 1,4 Mt en 2035. S&P Global Market Intelligence (2022b), por su parte, proyecta un déficit de 605 kt LCE ya para 2030, aun suponiendo un desarrollo agresivo de más de 50 proyectos en carpeta a nivel mundial. Si bien hay concordancia en la ocurrencia de déficits de mercado al menos a partir de 2030 en adelante, hay divergencias relevantes en las magnitudes. Esto refleja nuevamente la incertidumbre prevalente en el mercado del litio dado su rápido desarrollo.

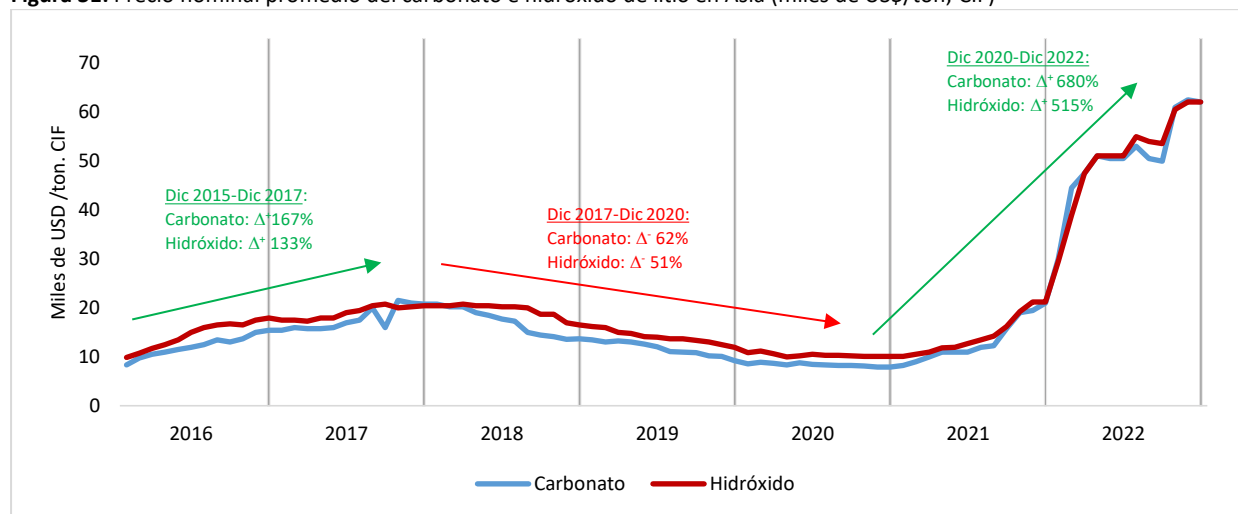
Figura 30: Balance carbonato e hidróxido de litio (kt LCE), 2020-35



Fuente: Cochilco.

2. Evolución de los precios estimados de los compuestos de litio

La Figura 31 ilustra la evolución que han tenido las cotizaciones promedio mensual entre enero de 2016 y diciembre de 2022 del carbonato y del hidróxido de litio según datos de transacciones seleccionadas en Asia computadas por S&P Global Market Intelligence (2022). A grandes rasgos se pueden distinguir tres periodos tendenciales: una sostenida ola de crecimiento durante 2016-17, una progresiva caída durante 2018-20, y una etapa de recuperación, o segunda ola de crecimiento, desde diciembre de 2020 hasta 2021, fase que se extendió con un verdadero despegue durante 2022. Describiremos las causas de los movimientos de estos periodos a continuación.

Figura 31: Precio nominal promedio del carbonato e hidróxido de litio en Asia (miles de US\$/ton, CIF)

Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2022).

a. Crecimiento, 2016-17

A partir de 2015, se hizo progresivamente patente en el mercado que los vehículos eléctricos iban a ser la fuerza dominante del transporte durante las siguientes décadas. Ante este escenario, con altas proyecciones de ventas de vehículos eléctricos frente a una capacidad productiva de litio entonces prevista como insuficiente, los precios transados tendieron al alza. Así, según datos de las transacciones en Asia computadas por S&P Global Market Intelligence (2022), entre diciembre de 2015 y diciembre de 2017, las cotizaciones promedio estimadas del carbonato y del hidróxido crecieron un 167% y 97% respectivamente.

b. Caída 2018-20

Luego del rápido crecimiento en el periodo 2016-2017, en los tres años siguientes las cotizaciones presentaron una persistente tendencia a la baja, cayendo un 62% y 51% para el carbonato y el hidróxido de litio respectivamente entre diciembre de 2017 y diciembre de 2020.

Mientras que el alto crecimiento en los precios registrado entre 2016 y 2017 se explica mayormente por las altas expectativas en el crecimiento de las ventas de autos eléctricos ante una oferta insuficiente, los factores de la caída subsecuente se atribuyen a fundamentos de mercado. Se destacan los siguientes:

- La entrada en operación de proyectos y expansiones con un importante volumen de producción, especialmente en Australia, generando un superávit de oferta.
- La continua desaceleración de China, el mayor consumidor y productor de litio a nivel mundial, indujo menores expectativas en ventas de autos eléctricos.
- La amenaza de reducción de China de sus subsidios a los autos eléctricos condujo a menores expectativas de demanda.

La situación se volvió crítica a partir de 2020 tras el brote de la pandemia Covid-19, cuyo impacto sanitario y económico se hizo sentir tempranamente en China y luego en el resto del mundo. La ralentización de las cadenas de suministro de bienes industriales y de consumo sobre los cuales descansa la demanda de litio, como vehículos eléctricos y artículos electrónicos, junto al decrecimiento económico mundial, naturalmente conllevó menores expectativas de crecimiento de la demanda de litio. Como resultado, los precios de los compuestos de litio siguieron transando a la baja durante los primeros meses del año.

c. Recuperación y despegue, 2021-2022

Ahora bien, ya desde fines de 2020 hasta fines de 2021 los precios están viendo un repunte no visto desde el alza de 2017-18, pasando de USD/t 7.950 en diciembre de 2020 a USD/t 21.000 en diciembre de 2021 en el caso del carbonato (+164%) y de USD/t 10.075 a USD/t 21.250 en el caso del hidróxido (+111%) durante el mismo periodo. Ahora bien, es en 2022 cuando se ha registrado un verdadero despegue de los precios del carbonato y del hidróxido, creciendo hasta USD/t 62.000 para ambas sustancias hacia diciembre de 2022. En suma, esto representa un alza de 680% del carbonato y de 515% del hidróxido desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2022.

Cabe señalar que este rápido crecimiento reciente está cimentado en un aumento palpable de la demanda ante una oferta prevista como insuficiente, especialmente de cara hacia fines de la década. El mayor consumo ha respondido directamente a las ventas de vehículos eléctricos, las cuales se proyecta que sigan creciendo año a año.

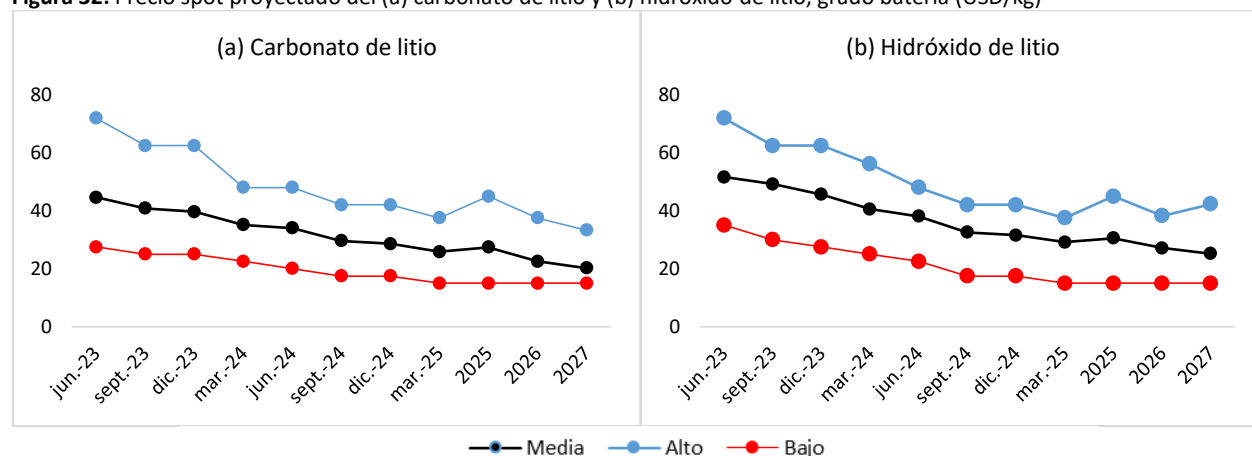
d. Perspectivas de los precios a mediano plazo

La Figura 32 ilustra proyecciones del precio spot del carbonato e hidróxido de litio entre junio de 2023 hasta 2027. Estas estimaciones se construyeron en base a las proyecciones individuales compiladas por Consensus Economics (2023) para Liberum Capital, Morgan Stanley, UBS y Credit Suisse para el caso del carbonato. Para el caso del hidróxido se cuenta, además, con la proyección de BoA Securities.

Como vemos, se estima que los precios decaerán paulatinamente durante los siguientes cinco años. Tomando la proyección promedio, vemos que en el caso del carbonato se proyecta una caída de USD/t 44.630 en junio de 2023 a USD/t 20.190 en 2027. En el caso del hidróxido, se prevé una caída desde USD/t 51.650 a USD/t 25.180 en el mismo periodo.

Se observa, además, que en ambos compuestos se espera una caída progresiva hasta 2024, lo que se puede interpretar a partir de la expectativa de materialización de proyectos y expansiones y, posiblemente, un menor crecimiento en la demanda.

Figura 32: Precio spot proyectado del (a) carbonato de litio y (b) hidróxido de litio, grado batería (USD/kg)



Fuente: Cochilco en base a Consensus Economics (2023).

3. Contratos bursátiles de litio

A diferencia de lo que ocurre en un metal como el cobre, donde su precio transa abiertamente en bolsa, las cotizaciones de litio históricamente se han acordado directamente entre los productores y los compradores, las cuales no son siempre conocidas en el mercado. Así, tanto las especificaciones químicas de los productos como las condiciones comerciales acordadas naturalmente varían contrato a contrato. Más aún, dado que la mayoría de las transacciones se hace mediante contratos de mediano y largo plazo, el precio de los compuestos de litio que llega a conocerse a través de las transacciones spot vistas por agencias especializadas solo recoge una parte minoritaria del mercado y por ende solo es una aproximación de las condiciones imperantes. Sin embargo, esta sigue siendo la mejor aproximación disponible, en tanto efectivamente refleja la demanda exigida sobre la oferta disponible en el mercado.

Ahora bien, una dificultad inherente al establecimiento de un precio para el litio es que no se trata de un *commodity*. En efecto, a diferencia del cobre, que en su forma comercial estándar se transa como cátodo grado A al 99,9% de pureza, el litio es un químico de especialidad, cuyos productos varían en sus especificaciones y purezas, razón por la cual es complejo definir un precio de mercado individual. Con todo, en la práctica vemos que los precios de los distintos compuestos guardan una alta correlación. De acuerdo a Hannah (2021), esto se debe a que en los márgenes de la oferta y demanda, donde el precio es determinado, existe una competencia común por unidades de litio, fenómeno que abre una ventana a favor para contar con precios de que estén basados en un amplio volumen de transacciones en el mercado.

Con todo, si bien en un comienzo los mayores productores se han mostrado algo reacios a contar con futuros de litio en bolsas de metales, a medida que la demanda de litio y otros materiales vinculados a la industria de autos eléctricos ha crecido, las principales bolsas han hecho esfuerzos por diseñar este tipo de contratos. En 2021 se cuentan varios hitos significativos:

- 3 de mayo: CME (Chicago Mercantile Exchange) lanzó su primer futuro de Hidróxido de litio CIF en base a evaluaciones de Fastmarkets
- 5 de julio: La Bolsa de Acero Inoxidable Wuxi de China lanzó un futuro de carbonato de litio
- 19 de julio: La Bolsa de Metales de Londres lanzó un contrato en efectivo de hidróxido de litio basado en Fastmarkets, Argus y S&P Global Platts
- 7 de septiembre: CME lanzó su segundo contrato de hidróxido de litio, en condiciones similares al primero

Si bien es esperable que tome tiempo para que el litio, otrora concebido como un mercado de nicho, se adapte a las crecientes exigencias de verse convertido en un material crítico por su importancia en la transición energética y la electromovilidad, es previsible que las bolsas de metales y la industria continúen moviéndose en la dirección de visibilizar los precios de los contratos y acordar instrumentos que permitan el seguimiento de precios respaldados por un mayor volumen de transacciones. Esta mayor transparencia puede, a su vez, incentivar una mayor inversión para la materialización de los proyectos.

1. Acrónimos y abreviaciones

Tipos de vehículos:

- BEV (Battery Electric Vehicles): Vehículos completamente eléctricos que funcionan únicamente en base a baterías recargables de ion-litio.
- EV (Electric Vehicles): Vehículos eléctricos enchufables, sean completamente eléctricos o híbridos.
- FCEV (Fuel-Cell Electric Vehicles): vehículos con celdas de combustible de hidrógeno
- HEV (Hybrid Electric Vehicles): Son vehículos eléctricos híbridos que emplean un motor de combustión interna apoyado por una batería, pero no requieren carga eléctrica
- ICE (Internal Combustion Engine): Vehículos de Combustión Interna
- PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles): Vehículos híbridos enchufables. Cuentan tanto con una batería de ion-litio como con un motor de combustión interna.

Tipo de baterías

- LCO: Batería de Litio y óxido de cobalto
- LFP: Batería de Litio Ferro-Fosfato
- LMO: Batería de Litio, Óxido de Manganeso
- LMNO: Batería de Litio, Manganeso, Óxido de Níquel
- NCA: Batería de Níquel-litio, Cobalto y óxido de Aluminio
- NCM: Batería de Níquel-litio, Cobalto y Manganeso

Precios y medidas

- CIF (Cost, Insurance, and Freight): Coste, seguro y flete; puerto de destino convenido
- FOB (Price On Board): Franco a bordo, puerto de carga convenido
- Kt: kilo toneladas
- kWh: kilovatio hora
- LCE (Lithium Carbonate Equivalent): Carbonato de Litio Equivalente
- Ton o t: tonelada métrica
- USD: Dólares estadounidenses
- USGS: Servicio Geológico de Estados Unidos de América

Agencias y entidades

- BMI: Benchmark Mineral Intelligence
- IEA (International Energy Agency): Agencia Internacional de Energía
- SEA: Servicio de Evaluación Ambiental
- SpA: Sociedad por Acciones

Documentos

- DIA: Declaración de Impacto Ambiental
- EE.FF.: Estados Financieros corporativos
- EIA: Estudio de Impacto Ambiental

Referencias

- Accardo, A., Dotelli, G., Musa, M., & Spessa, E. (27 de Enero de 2021). Life Cycle Assessment of an NMC Battery for Application to Electric Light-Duty Commercial Vehicles and Comparison with a Sodium-Nickel-Chloride Battery. *Applied Sciences*, 11. doi:<https://doi.org/10.3390/app11031160>
- Albemarle. (2022). *SEC Technical Report Summary*. Pre-Feasibility Study. Obtenido de <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/915913/000091591322000025/exhibit9631231202110-k.htm>
- Albemarle. (28 de Enero de 2022a). SEC Technical Report Summary Pre-Feasibility Study Salar de Atacama Región II, Chile. Obtenido de <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/915913/000091591322000025/exhibit9631231202110-k.htm>
- Albemarle. (13 de junio de 2022b). Albemarle Inagourates New Plant Designed To Double Lithium Production and Reduce Water Consumption by 30% per metric ton. Obtenido de <https://www.albemarle.com/news/albemarle-inaugurates-new-plant-designed-to-double-lithium-production>
- Albemarle. (2022c). *Third-Quarter 2022 Report*.
- Allkem. (21 de Diciembre de 2021). James Bay Lithium Project Feasibility Study & Maiden Ore Reserve. Obtenido de https://minedocs.com/22/James_Bay-FS-12212021.pdf
- Althaus, H.-J., Notter, D. A., & Gauch, M. (Enero de 2009). Life cycle assessment of a Lithium-ion battery for applications in electric vehicles.
- Andeburg Consulting Services Inc. (2019). *Updated Feasibility Study and Mineral Reserve Estimation to Support 40,000 tpa Lithium Carbonate Production at the Cauchari-Olaroz Salars, Jujuy Province, Argentina*. Technical Report NI 43 – 101.
- Argus Media. (29 de Enero de 2019). Obtenido de Lithium hydroxide demand to overtake carbonate: <https://www.argusmedia.com/en/news/1836977-lithium-hydroxide-demand-to-overtake-carbonate-aabc>
- AVZ Minerals. (21 de Abril de 2020). Manono Definitive Feasibility Study. Obtenido de <https://minedocs.com/20/Manono-DFS-04212020.pdf>
- Banco Central de Chile. (14 de 04 de 2023). *Base de Datos Estadísticos*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_DYB/MN_BDP42/BP6M_EXPORT/BP6M_EXPORT?cbFechaInicio=2022&cbFechaTermino=2022&cbFrecuencia=QUARTERLY&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=
- Bloomberg. (3 de Diciembre de 2018). Bolivia's Almost Impossible Lithium Dream. Obtenido de <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-12-03/bolivia-s-almost-impossible-lithium-dream?leadSource=uverify%20wall>
- Bloomberg. (11 de Abril de 2022). Sigma Lithium Updates Feasibility Study. Obtenido de <https://www.bloomberg.com/press-releases/2022-04-11/sigma-lithium-updates-feasibility-study-with-phase-1-after-tax-npv-of-us-1-6-bn-increasing-mineral-reserves-2-6x-to-34mt-and-11uqdpvn>
- BloombergNEF. (10 de Junio de 2020). *alling Clean Energy Costs Can Provide Opportunity to Boost Climate Action in COVID-19 Recovery Packages*. Obtenido de Bloomberg New Energy Finance: <https://about.bnef.com/blog/falling-clean-energy-costs-can-provide-opportunity-to-boost-climate-action-in-covid-19-recovery-packages/>
- BloombergNEF. (9 de Agosto de 2021). At Least Two-Thirds of Global Car Sales Will Be Electric by 2040. (B. E. Scenario, Ed.) Obtenido de At Least Two-Thirds of Global Car Sales Will Be Electric by 2040: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-08-09/at-least-two-thirds-of-global-car-sales-will-be-electric-by-2040>
- BloombergNEF. (Mayo de 25 de 2021). *Hyperdrive Daily: The EV Price Gap Narrows*. Obtenido de Bloomberg New Energy Finance: <https://www.bloomberg.com/news/newsletters/2021-05-25/hyperdrive-daily-the-ev-price-gap-narrows>
- BloombergNEF. (2022). *Electric Vehicle Outlook 2022*. Obtenido de <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

- BloombergNEF. (6 de Diciembre de 2022). *Lithium-ion Battery Pack Prices Rise for First Time to an Average of \$151/kWh*. Obtenido de <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-rise-for-first-time-to-an-average-of-151-kwh/>
- BMI. (2020). Benchmark Mineral Intelligence. *Lithium Forecast Q1*.
- BMI. (2022). Benchmark Mineral Intelligence. *Lithium Forecast Q3*.
- Bongartz, L., Shammugam, S., Gervais, E., & Schlegl, T. (10 de Abril de 2021). Multidimensional criticality assessment of metal requirements for Lithium-ion batteries in electric vehicles and stationary storage applications in Germany by 2050. *Journal of Cleaner Production*, 292, 1-13. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126056
- Bradley, D. C., Stillings, L. L., Jaskula, B. W., Munk, L., & McCauley, A. D. (2017). Lithium. En USGS, *Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*. Reston, Virginia. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/pp/1802/k/pp1802k.pdf>
- Cochilco. (2021). *Oferta y demanda de litio hacia el 2030*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Produccion%20y%20consumo%20de%20litio%20hacia%20el%202030.pdf>
- Comisión Europea. (2020). *New EU regulatory framework for batteries - Setting sustainability requirements*. Environment, Public Health and Food Safety (ENVI). Obtenido de [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI\(2021\)689337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf)
- Consejo Fiscal Autónomo. (2023). *Reflexiones sobre los desafíos fiscales del litio en Chile*. Nota del CFA N°15.
- Consensus Economics. (17 de Abril de 2023). Energy, Metals and Agriculture Consensus Forecasts.
- Core Lithium. (26 de Julio de 2021). Stage 1 Definitive Feasibility Study Sets Scene for Australia's Next Lithium Producer. Obtenido de <https://minedocs.com/21/Finniss-DFS-Stage1-072622021.pdf>
- Corfo. (Junio de 2016). Presentación Comisión Investigadora Litio.
- Corfo. (2018). Minuta Conciliación Corfo-SQM.
- Da Silva, L. L., Mattijs, Q., Sanjuan, D. D., Laget, H., Corbisier, D., Mertens, J., . . . Buchmayr, A. (Agosto de 2021). Life cycle assessment of lithium-ion batteries and vanadium redox flow batteries-based renewable energy storage systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138821002964>
- Deloitte. (2020). *Electric Vehicles - Setting a course for 2030*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html>
- DF. (3 de Enero de 2023a). Salar Blanco inicia obras de proyecto de litio por US\$ 700 millones en Maricunga, la operación de litio más avanzada de Sudamérica. *Diario Financiero*. Obtenido de <https://www.df.cl/empresas/mineria/minera-salar-blanco-parte-obras-de-proyecto-de-litio-por-us-700>
- DF. (26 de enero de 2023b). Fondo Asiático y grupo Errázuriz invertirán US\$ 600 millones en Salar de Maricunga y adelantan cambios en la propiedad. *Diario Financiero*. Obtenido de <https://www.df.cl/empresas/mineria/fondo-asiatico-y-grupo-errazuriz-invertiran-us-600-millones-en-salar-de>
- Firefinch. (6 de Diciembre de 2021). Goulamina Lithium Project Update to DFS Delivers NPV of A\$4.1 Billion and 83% IRR. Obtenido de <https://minedocs.com/22/Goulamina-FS-12062021.pdf>
- Globisch, J., Burghard, U., & Dütschke, E. (Enero de 2013). Acceptance of electric vehicles by commercial users in the electric mobility pilot regions in Germany. *ECEEE Summer Study Proceedings*, 973-983.
- Goonan, T. G. (2012). *Lithium Use in Batteries*. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Greim, P., Solomon, A., & Breyer, C. (20 de Septiembre de 2020). Assessment of lithium criticality in the global energy transition and addressing policy gaps in transportation. *Nature Communications*, 1-11. doi:10.1038/s41467-020-18402-y

- Guerrero, G. (1 de noviembre de 2022). Gonzalo Guerrero: Una Empresa Química y minera como SQM debe tener una relación asociativa en el entorno humano y ambiental. Obtenido de <https://www.df.cl/aniversario/gonzalo-guerrero-una-empresa-quimica-y-minera-como-sqm-debe-tener-una>
- Gunn Metallurgy. (2022). *Sal de Vida Project*. NI 43-101 Technical Report.
- Hannah, P. (29 de Noviembre de 2021). Why the lithium market needs to take a leap of faith on pricing. *FastMarkets*. Obtenido de <https://www.fastmarkets.com/insights/why-the-lithium-market-needs-to-take-a-leap-of-faith-on-pricing>
- HSBC. (2018). *Global EV Battery Materials*. HSBC Global Research, Equities Global.
- Iclodean, C., Varga, B., Burnete, N., Cimerdean, D., & Jurchiş, B. (2017). Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles. (T. U. Cluj-Napoca, Ed.) *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 252, 103-105.
- IEA. (2022). *Global Supply Chains of EV Batteries*. Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/961cfc6c-6a8c-42bb-a3ef-57f3657b7aca/GlobalSupplyChainsofEVBatteries.pdf>
- IEA. (2022). *International Energy Agency*. Obtenido de Global EV Data Explorer: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>
- Jeon, W., & Mo, J. (13 de Agosto de 2018). The Impact of Electric Vehicle Demand and Battery Recycling on Price Dynamics of Lithium-Ion Battery Cathode Materials: A Vector Error Correction Model (VECM) Analysis. *Sustainability*. doi:<https://doi.org/10.3390/su10082870>
- Kroesen, M. (2017). To what extent do e-bikes substitute travel by other modes? Evidence from the Netherlands. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 53, 377-387. doi:10.1016/j.trd.2017.04.036
- Latini, D., Vaccari, M., Lagnoni, M., Orefice, M., Mathieux, F., Huisman, J., . . . Bertei, A. (2022). A comprehensive review and classification of unit operations with assessment of outputs quality in lithium-ion battery recycling. *Journal of Power Sources*, 546, 1-23. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231979>
- Liontown Resources. (11 de Noviembre de 2021). Kathleen Valley DFS confirms Tier-1 global lithium project with outstanding economics and sector-leading sustainability credentials. Obtenido de <https://wcsecure.weblink.com.au/pdf/LTR/02450567.pdf>
- Millennial Lithium Corp. (2019). *Millennial Lithium Corp. Announces Positive Feasibility Study Results for its Pastos Grandes Project, Argentina*.
- Natural Resources Canada. (2022). *The Canadian Critical Minerals Strategy*. Obtenido de <https://www.canada.ca/en/campaign/critical-minerals-in-canada/canadian-critical-minerals-strategy.html>
- Neo Lithium Corp. (25 de November de 2021). Feasibility Study (FS) - 3Q Project. (NI 43-101 Technical Report). Obtenido de <https://minedocs.com/21/Tres-Quebradas-FS-11252021.pdf>
- Nikkei Asia. (4 de Noviembre de 2021). *Mineral oligopoly overshadows world's drive to decarbonization*. Obtenido de <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Datawatch/Mineral-oligopoly-overshadows-world-s-drive-to-decarbonization>
- Parra, G. G. (2018). *Alternativas de extracción de litio para salmueras de SQM Salar*. Informe de Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Metalúrgico, Universidad de Concepción. Obtenido de http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3595/4/tesis_Alternativas_de_extraccion_de_litio.Image.Marked.pdf
- Pilbara Minerals. (2017). *Pilgangoora – The world's Leading Lithium Development Project*. Obtenido de http://www.pilbaraminerals.com.au/site/PDF/1983_0/CorporatePresentationSeptember2017
- Prospect Resources. (14 de Diciembre de 2021). Lycopodium completes Direct OFS for Arcadia Project. Obtenido de <https://prospectresources.com.au/wp-content/uploads/2022/07/61068491.pdf>
- Rapier, R. (4 de Agosto de 2019). *Why China Is Dominating Lithium-Ion Battery Production*. Obtenido de <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2019/08/04/why-china-is-dominating-lithium-ion-battery-production/?sh=1061e2bf3786>

- Rezvani, Z., Jansson, J., & Bodin, J. (Enero de 2015). Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 122-136. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010>
- Rho Motion. (2022). *EV & Battery Quarterly Outlook (disponible en BMI Q3 2022)*.
- Roskill. (2020). *Lithium Outlook to 2030*. Londres.
- S&P Global Market Intelligence. (2022). <https://www.spglobal.com>. Obtenido de <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/>
- S&P Global Market Intelligence. (11 de Octubre de 2022b). Lithium project pipeline insufficient to meet looming major deficit.
- Schenker, V., Oberschelp, C., & Pfister, S. (Diciembre de 2022). Regionalized life cycle assessment of present and future lithium production for Li-ion batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106611>
- Sinovoltaics. (2021). *sinovoltaics.com*. Obtenido de <https://sinovoltaics.com/learning-center/storage/lmo-batteries/>
- SQM. (2021). *SQM informa resultados del tercer trimestre de 2021*. Santiago de Chile. Obtenido de https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_financials/2021/q3/PR_3Q21_esp_final.pdf
- SQM. (Marzo de 2022a). Corporate Presentation March 2022. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnpbpcjpcglclefindmkaj/https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_presentations/2022/4Q2021_long-presentation_March-2022.pdf
- SQM. (15 de Septiembre de 2022b). Proyecto Salar Futuro: SQM desarrolla nuevas formas de producción de litio con uso cero de agua dulce. Obtenido de <https://www.sqm.com/en/noticia/proyecto-salar-futuro-sqm-desarrolla-nuevas-formas-de-produccion-de-litio-con-uso-cero-de-agua-dulce/>
- SQM. (Marzo de 2023). Corporate presentation Q4 2022. Obtenido de https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_financials/2022/q4/4Q2022_ResultsPresentation_1Mar2023_final_.pdf
- Standard Lithium. (2021). *Preliminary Economic Assessment of SW Arkansas Lithium Project*. NI 43 – 101 Technical Report.
- Sumitomo Metal Mining. (2021). *smm.co.jp*. Obtenido de https://www.smm.co.jp/en/business/material/products/nickel_lite/
- Thomson Reuters. (2022). *Estadísticas COMEX*. Obtenido de [/www.checkpoint.cl](http://www.checkpoint.cl)
- USGS. (2010). *Lithium Statistics and Information*. Obtenido de <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/mineral-pubs/lithium/mcs-2010-lithi.pdf>
- USGS. (2015). *Lithium Statistics and Information*. Obtenido de <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/mineral-pubs/lithium/mcs-2015-lithi.pdf>
- USGS. (2022). *Lithium Statistics and Information*. Obtenido de United States Geological Service: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022-lithium.pdf>
- van Heuveln, K., Ghotge, R., Annema, J. A., van Bergen, E., van Wee, B., & UdoPesch, U. (Julio de 2021). Factors influencing consumer acceptance of vehicle-to-grid by electric vehicle drivers in the Netherlands. *Travel Behaviour and Society*, 24, 34-45. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.12.008>
- Wang, N., Linhao, T., & Huizhong, P. (Enero de 2018). Analysis of public acceptance of electric vehicles: An empirical study in Shanghai. *Technological Forecasting and Social Change*, 126. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.011>
- Watkins, B. (7 de Octubre de 2014). *Lithium or Vanadium: In Energy Storage, It's No Contest*. Obtenido de Renewable Energy World: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/lithium-or-vanadium-in-energy-storage-its-no-contest/#gref>
- WorleyParsons. (2022). *Definitive Feasibility Study Update Minera Salar Blanco - Lithium Project Stage one*. Obtenido de https://lithiumpowerinternational.com/wp-content/uploads/2022/01/NI43-101_DFS2022_LR.pdf

- Xu, C., Dai, Q., Gaines, L., Hu, M., & Tukke, A. (Diciembre de 2020). Future material demand for automotive lithium-based batteries. *Communications Materials*. doi:<https://doi.org/10.1038/s43246-020-00095-x>
- Yoshio, M., Brodd, R. J., & Akiya, K. (2009). *Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies*. Nueva York: Springer. Obtenido de <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-0-387-34445-4%2F1.pdf>
- Zhengming, Z., & Premanand, R. (2012). Lithium-Ion Battery Systems and Technology. (M. R.A., Ed.) *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, 6122-6149.
- Ziefle, M., Beul-Leusmann, S., Kasugai, K., & Schwalm, M. (2014). Public Perception and Acceptance of Electric Vehicles: Exploring Users' Perceived Benefits and Drawbacks. (M. A., Ed.) *Design, User Experience, and Usability. User Experience Design for Everyday Life Applications and Services*. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-07635-5_60

Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por:

Andrés González Eyzaguirre

Analista de Estrategia y Políticas Públicas

Francisco Donoso Rojas

Coordinador de Mercados Mineros

Víctor Garay Lucero

Director de Estudios y Políticas Públicas (S)

Junio / 2023