



El mercado de litio

Desarrollo reciente y proyecciones al 2030

DEPP

Resumen Ejecutivo

- Demanda y oferta de litio:

Proyectamos que la demanda de litio se incremente desde 327 kt de Carbonato de Litio Equivalente (en adelante LCE) en 2020 hasta 2.114 kt LCE en 2030, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 21%. Este incremento descansa en el mayor consumo proyectado de baterías de ion-litio del sector automotriz. En efecto, anticipamos que el segmento de vehículos eléctricos pase de representar el 41% del consumo agregado de litio en 2020 a un 73% en 2030.

El consumo agregado se divide mayormente en compuestos de carbonato e hidróxido de litio. Sin embargo, mientras que al 2020 estimamos que el carbonato es demandado con mayor intensidad, con un 67% del consumo total frente a un 28% para el hidróxido, anticipamos que el hidróxido tomara el protagonismo, llegando a un 56% del consumo total versus un 44% para el carbonato hacia el 2030. Lo anterior se explica mayormente por una creciente inclinación de los fabricantes de cátodos intensivos en níquel, las cuales tienden a favorecer el uso de hidróxido.

En paralelo, a partir de las expansiones productivas de las operaciones existentes junto a la entrada operacional de nuevos proyectos a nivel mundial, proyectamos un crecimiento esperado de la producción mina de 384 kt LCE en 2020 a 1.637 kt LCE en 2030, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 16%. Este incremento está fuertemente asociado a la entrada operacional de proyectos nuevos, los cuales aportarían el 49% de la oferta hacia fines de la década.

A nivel jurisdiccional, proyectamos que Australia aumente significativamente su producción y participación sobre la producción total, pasando de producir 174 kt en 2020 a 415 kt en 2030. Argentina, por parte, también incrementaría fuertemente su producción, llegando a igualar a la producción esperada de Chile hacia fines de la década con alrededor de 238 kt LCE. Al mismo tiempo, se prevé que varios países, que actualmente no cuentan con una producción a gran escala, como Canadá, la República Democrática del Congo, Mali y México, se conviertan en actores productivos relevantes hacia fines de la década. Chile, por su parte, actualmente es el segundo mayor productor del mercado con el 32% del total al 2020 y, si bien continúa realizando aumentos significativos de capacidad y producción en el Salar de Atacama, se espera que su participación en la producción mina global caiga a 15% hacia fines de la década.

- Balance y precios

El mercado ha avanzado desde una situación de superávit en 2019 hasta una progresiva estrechez durante 2020, produciendo leves déficits a partir de 2021. Si bien es esperable que estos se mantengan relativamente estables hasta 2027, el balance continuará en una situación de relativa constricción, lo que significará que cualquier disrupción en la oferta de operaciones existentes o retrasos en la puesta en marcha tanto de proyectos nuevos como de expansiones (que en efecto constituyen el grueso de la producción mina proyectada al 2030 con un 49% y un 10% respectivamente), causen déficits temporales. Más aún, ya a partir de 2027, proyectamos que la oferta no alcanzará a satisfacer la demanda esperada, creando un déficit creciente. Esta situación naturalmente ha puesto presión sobre la velocidad con que efectivamente pueda materializarse la oferta proyectada, lo que a su vez se ha traducido en un alza en los precios de carbonato e hidróxido de litio durante 2021.

Tabla de Contenidos

Resumen Ejecutivo	2
I. Introducción	4
II. Demanda.....	5
1. Usos del litio	5
2. Consumo de litio por compuesto químico.....	5
3. Consumo por uso final y jurisdicción.....	6
4. Baterías de ion-litio	7
5. Proyección de la demanda al 2030	10
a. Proyección de la demanda de litio por vehículos eléctricos	10
b. Proyección de la demanda de litio remanente.....	13
c. Proyección de la demanda agregada de litio.....	14
d. Proyección de la demanda de litio por composición química	15
6. Riesgos al crecimiento de la demanda de litio	16
III. Oferta.....	19
1. Fuentes de litio	19
2. Producción por tipo de yacimiento.....	21
3. Participación de mercado	22
a. Por país.....	22
b. Por empresa.....	22
4. Producción por compuesto químico	23
5. Costos de producción.....	24
a. Rango de costos estimados.....	24
b. Desagregación por insumo.....	25
c. Operaciones de salmueras	26
6. Proyección de la producción de litio mina al 2030	27
a. Producción mina por tipo de operación	27
b. Producción mina por país.....	28
c. Producción mina por tipo de fuente.....	30
d. Producción secundaria.....	30
e. Producción por compuesto químico.....	31
7. Producción nacional de litio	32
a. Crecimiento en capacidad y en producción	32
b. Importancia de la producción nacional en el mundo	34
c. Importancia de la producción nacional para Chile	35
• Exportaciones de litio.....	35
• Exportaciones de litio en relación a otros productos.....	36
IV. Balance y precios.....	38
1. Balance 2019-2030	38
2. Evolución del precio de los compuestos de litio, 2016-21.....	40
a. Crecimiento, 2016-17	40
b. Caída 2018-20	41
c. Recuperación, 2021	41
3. Contratos bursátiles de litio	42
V. Anexo: Reservas de litio de SQM, Albemarle y Minera Salar Blanco en Chile	43
VI. Referencias.....	44

I. Introducción

El litio ha sido tradicionalmente usado en distintas aplicaciones que van desde productos farmacéuticos hasta la fabricación de sistemas de tratamiento de aire. Más recientemente, sin embargo, ha tenido un uso creciente a partir del auge comercial de las baterías de ion litio, las cuales se emplean tanto en ítems electrónicos de uso personal como computadores y teléfonos, sistemas de almacenamiento energético y, por su puesto, en el mercado de vehículos eléctricos. Es precisamente en esta última categoría donde yace su principal motor de demanda. Si bien se trata de un mercado con una penetración relativamente baja, estimada en 4% en 2020, su crecimiento en los últimos años ha sido explosivo y se espera que sus ventas anuales crezcan en el orden de una tasa anual promedio compuesta de 27% hacia fines de la década, representando el 31% de las ventas totales de vehículos nuevos del sector automotriz completo.

La importancia del litio se ve reforzada considerando que, aun cuando se ha investigado profusamente sobre nuevas tecnologías de baterías, proyectándose el uso comercial de distintos modelos en los próximos años, no se prevé una sustitución o merma significativa en su uso. Se trata, en efecto, de un material esencial para el desarrollo de la electromovilidad.

Así, desde 2018 EE.UU. lo clasifica en su listado de minerales críticos para sus intereses económicos y de seguridad nacional (USGS, 2018), mientras que en 2020 la Comisión Europea lo incluyó en su listado de materias primas críticas dada su importancia económica y los riesgos asociados a su oferta (Comisión Europea, 2020). A nivel corporativo, en los últimos años varias empresas automotoras y fabricantes de baterías han buscado activamente asegurar el suministro de litio 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, acentuando la importancia percibida por este material y los posibles riesgos de acceso asociados. 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).

En este contexto, 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 en las redes entre producción y demanda. Esto es especialmente relevante para un país como Chile, no solo por su papel como segundo productor mundial, sino que también por sus pretensiones de desarrollo aguas abajo 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 2030 en base a sus principales fuentes de consumo. A continuación, en el capítulo III revisaremos la oferta, permitiendo una breve discusión sobre las fuentes de producción actual y proyectada, los costos operacionales, la participación de mercado por empresa y la proyección de crecimiento al 2030. Luego se dará paso a una discusión separada sobre la producción y ventas nacionales, su importancia para Chile y sus proyecciones de desarrollo futuro. Finalmente, en el capítulo IV, evaluaremos conjuntamente la oferta y la demanda a través del balance de mercado y discutiremos la evolución reciente de los precios de las sustancias de litio.

II. Demanda

1. Usos del litio

Antes de entrar de lleno en el consumo actual y futuro del litio, es conveniente revisar someramente cuáles son sus principales usos en tanto estos son precisamente los motores que sustentan la demanda. De forma simplificada, como se expone en la Tabla 1, estos 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 que estos productos logren 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.
Almacenamiento energético Combinando baterías con sistemas de <i>machine learning</i> , se puede conservar electricidad para uso futuro	Otros Tratamiento de aire, productos farmacéuticos, plásticos y polímeros, entre otros

Fuente: Cochilco.

Como veremos a continuación, las baterías recargables para autos eléctricos son abrumadoramente el principal *driver* de la demanda, situación que –debido en gran medida a la búsqueda de alternativas de transporte con una menor huella de carbono– se espera que crezca en el tiempo. En consecuencia, cualquier discusión sobre demanda de litio se sustenta en primera instancia en el auge que ha experimentado la electromovilidad a nivel mundial en los últimos años.

2. Consumo de litio por compuesto químico

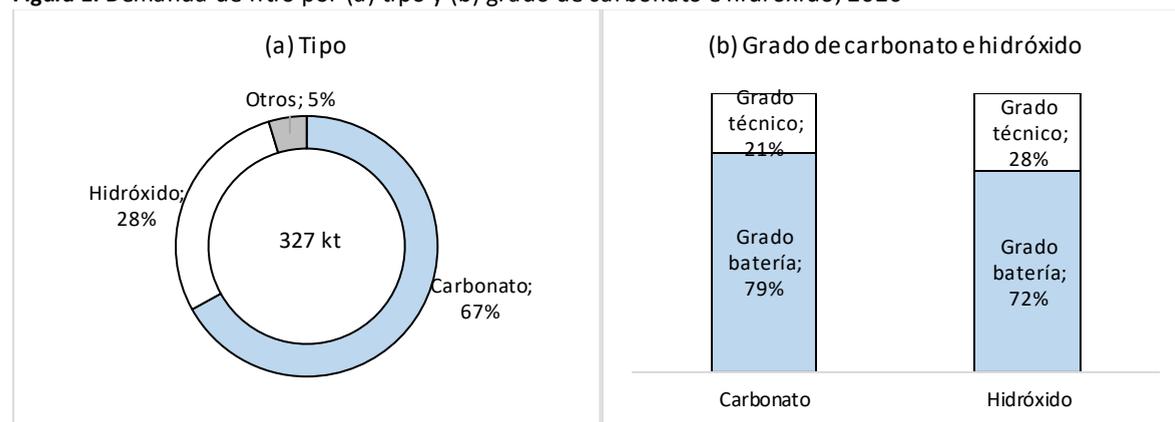
En términos generales el litio como producto se puede categorizar según su composición química en carbonato, hidróxido y otros compuestos que incluyen concentrados, butil-litio, bromuro y metal de litio. Actualmente, como se ilustra en la Figura 1.a, el carbonato es el producto de mayor utilización industrial con el 67%, seguido del hidróxido y productos previos para su elaboración (principalmente en forma de concentrados de espodumeno) con un 28%. El 5% restante se divide en butil-litio, sulfato de litio (que puede ser empleado para la fabricación de hidróxido) bromuro, metal de litio en grado batería y otros compuestos.

De igual forma, tanto el hidróxido como el carbonato se pueden categorizar en grado técnico y grado batería según el grado de pureza de su composición. Como lo señala su nombre, el grado batería se tiende a usar primordialmente en la elaboración de baterías de ion-litio, las cuales suelen requerir

una mayor pureza del material que otros compuestos. 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%.

Como vemos en panel (b) de la, la demanda de tanto carbonato como hidróxido privilegia el grado batería, 79% en el caso del carbonato y 72% en el caso del hidróxido. Esto desde luego va en línea con la tendencia creciente de uso de litio en la fabricación de baterías de ion-litio.

Figura 1: Demanda de litio por (a) tipo y (b) grado de carbonato e hidróxido, 2020



Fuente: Cochilco.

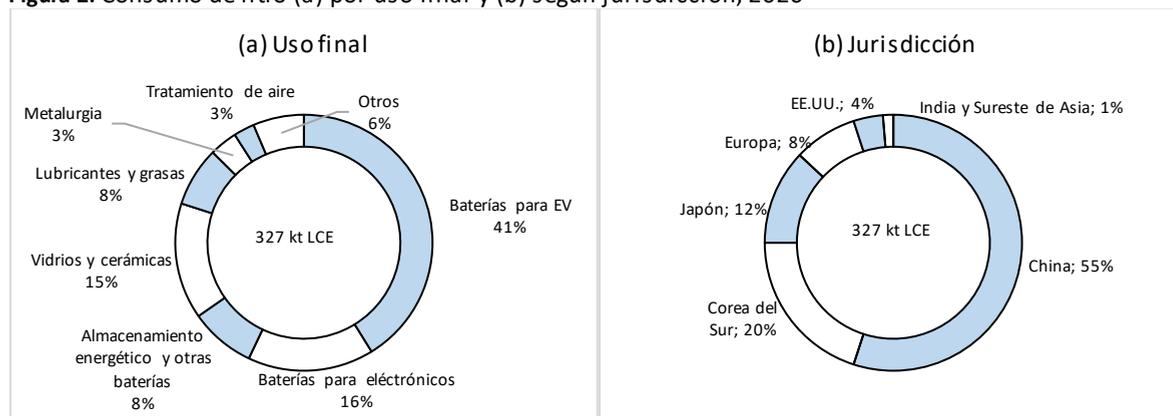
3. Consumo por uso final y jurisdicción

La Figura 2 ilustra en su panel (a) el consumo por uso final del litio y en su panel (b) el consumo a nivel territorial. Como se observa del panel (a), durante 2020 cerca de dos tercios del litio fue utilizado en la fabricación de baterías de ion-litio, dividiéndose en un 41% para vehículos eléctricos (considerando vehículos eléctricos enchufables, sean completamente eléctricos o híbridos), 16% para artículos electrónicos de uso personal (computadores, *tablets*, teléfonos, herramientas de ferretería, entre otros) y 8% 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 15%, así como los lubricantes y grasas, con 8%.

Por otra parte, como se observa del panel (b), China es por lejos el principal demandante, concentrando el 55% del consumo a nivel mundial. La alta importancia de China en el consumo no es accidental. En efecto, responde a su construcción durante años de una cadena industrial de fabricación baterías de ion-litio, concentrando actualmente el 80% de la capacidad de fabricación de celdas de baterías (BloombergNEF, 2021).

De igual forma, vemos que otras jurisdicciones con industrias automotrices y de aplicaciones electrónicas altamente desarrolladas como Japón, Corea del Sur y Europa también cuentan con participaciones significativas en el consumo.

Figura 2: Consumo de litio (a) por uso final y (b) según jurisdicción, 2020



Fuente: Cochilco.

4. Baterías de ion-litio

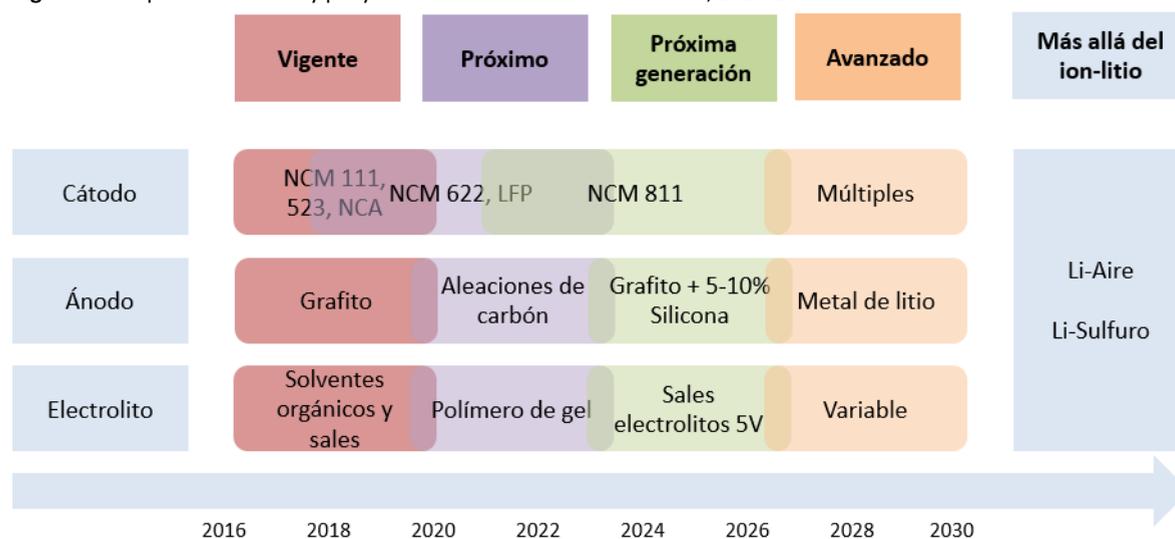
El litio es el metal más liviano y el elemento sólido de menor densidad, contando con el mayor potencial electroquímico entre todos los metales (Althaus, Notter, & Gauch, 2009). Esto faculta que las baterías de ion-litio pueden almacenar una mayor cantidad de energía en un sistema relativamente pequeño 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).

Sin pretender entrar a una discusión detallada sobre la composición y funcionamiento de una batería de ion-litio, para los fines del presente informe basta con acotar que se forma de tres componentes principales: el ánodo en el extremo negativo, el cátodo en el positivo y el electrolito que actúa como separador de ambos electrodos, permitiendo la conducción de la energía eléctrica. El movimiento de iones de litio positivamente cargados desde el ánodo a través del electrolito hasta el cátodo crea electrones libres, los que viajan por un circuito externo llevando la energía eléctrica requerida para dar funcionamiento al sistema. Inversamente, cuando una batería se carga, esta reacción química se revierte (Zhengming & Premanand, 2012).

Si bien la tecnología se conoce desde principios de los 70s, su uso a nivel comercial comenzó en 1991 con la introducción por parte de Sony de una cámara de video de uso personal en base a estas baterías (Yoshio, Brodd, & Akiya, 2009). Más recientemente, en los últimos años se ha visto el incipiente desarrollo de la electromovilidad, naturalmente conduciendo a un uso significativamente superior.

Como se ilustra en la Figura 3, 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 es en el cátodo. En este elemento se han desarrollado varias tecnologías que se 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.

Figura 3: Adopción reciente y proyectada de baterías de ion-litio, 2016-2030



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). En este contexto, 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).

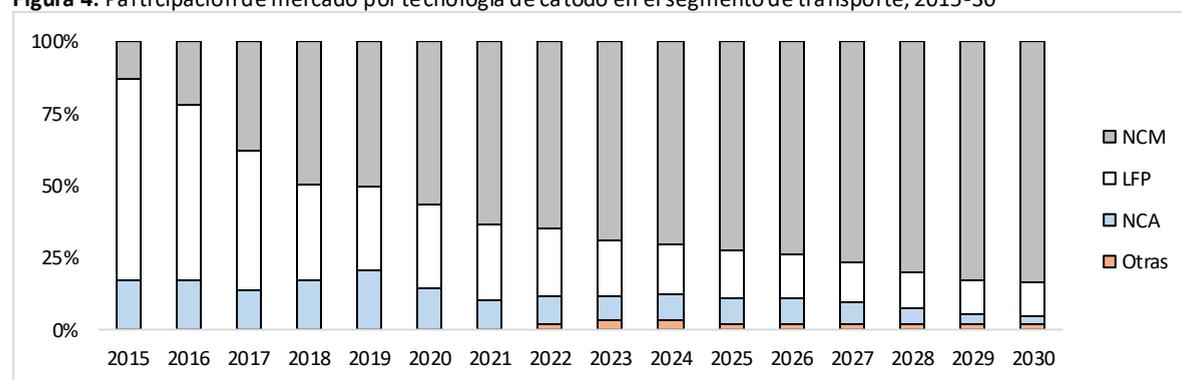
Tabla 2: Principales usos potenciales, ventajas, desventajas y uso de litio de distintas tecnologías de cátodo

Tipo de cátodo	Principal uso potencial	Principales ventajas	Principales desventajas	Uso de Li (kg/kWh)
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	0.16
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 (dependiendo del modelo) Menor densidad energética que otras baterías intensivas en níquel	0.16
Litio, Óxido de Manganeso (LMO)	Herramientas eléctricas, e-bikes, scooters, equipos médicos de alto consumo	Alta tasa de carga Alta estabilidad química No está expuesta al cobalto	Vida útil acotada Menor capacidad en relación a cátodos basados en cobalto	0.16
Litio, Manganeso, Óxido de Níquel (LMNO)	Vehículos eléctricos	Alta tasa de carga No está expuesta al cobalto	Vida útil acotada	0.15
Litio Ferro-Fosfato (LFP)	Almacenamiento energético, e-bikes	Bajo costo y alta vida útil Alta estabilidad química No está expuesta al cobalto	Densidad energética acotada	0.16

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

La Figura 4 ilustra las proporciones de uso estimado de las tecnologías de cátodos de aplicación comercial desde 2015 en adelante, incluyendo su proyección al 2030. Vemos que en general se ha tendido a privilegiar las baterías tipo NCM, las cuales se estima que concentraron el 57% de la demanda en 2020 y se espera superen el 80% al 2030. A esta le sigue la batería LFP, que si bien se proyecta una disminución progresiva dada su menor densidad energética en relación a las baterías NMC y NCA, es posible que esta tendencia se revierta considerando los esfuerzos en innovación de los fabricantes por aminorar o eliminar el uso de cobalto.

Figura 4: Participación de mercado por tecnología de cátodo en el segmento de transporte, 2015-30



Fuente: Cochilco en base a BMI (2020).

Ahora bien, como se ilustra en la última columna de la Tabla 2, algo que todas estas tecnologías tienen en común es que utilizan cantidades relativamente similares de litio por kWh. En consecuencia, el consumo de litio en el sector de electromovilidad, en efecto la mayor fuente de demanda, no se ve amenazado en el corto y mediano plazo a partir de estas variaciones tecnológicas.

5. Proyección de la demanda al 2030

a. Proyección de la demanda de litio por vehículos eléctricos

Como mencionamos previamente, en los últimos años la principal fuente de demanda de litio ha provenido del sector transporte, especialmente vinculada a la demanda por vehículos eléctricos livianos o de pasajeros. Esta es una tendencia que se espera continúe creciendo progresivamente, a medida que los automóviles de combustión interna comiencen a ser progresivamente reemplazados por alternativas con una menor huella de carbono.

En este contexto, 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 de litio inevitablemente descansa sobre la proyección de las ventas de autos eléctricos.

Con todo, nuestra proyección de demanda por electromovilidad se construye en cuatro pasos, que describiremos a continuación:

Paso 1: Obtenemos la demanda proyectada de autos eléctricos.

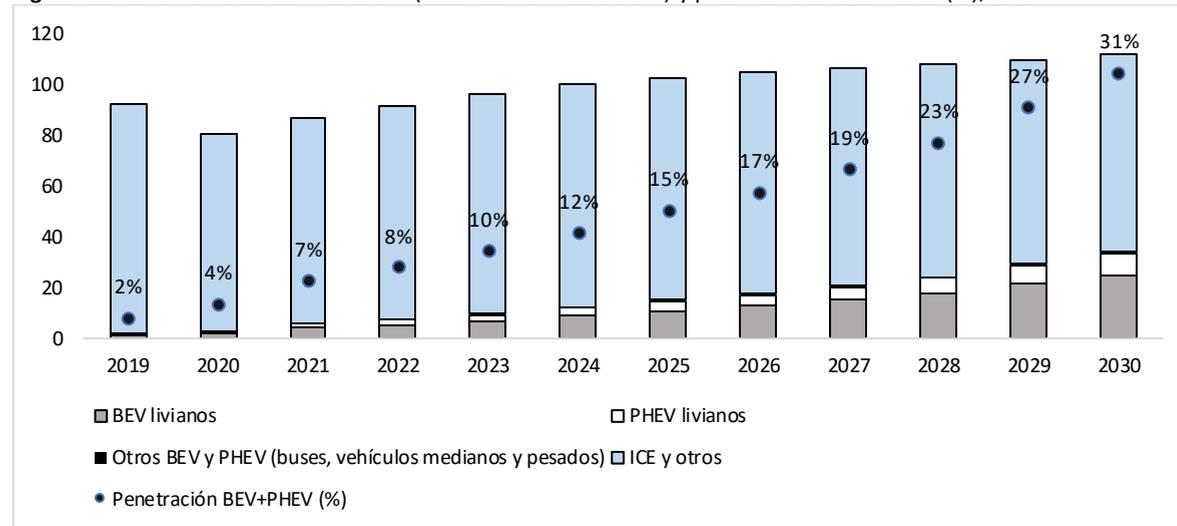
Para esto consideramos vehículos eléctricos enchufables (EV). En particular:

- 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* o FCEV) ni tampoco vehículos eléctricos híbridos (*Hybrid Electric Vehicles* o HEV), que emplean un motor de combustión interna apoyado por una batería, pero no requieren carga eléctrica¹.

Para la proyección anual al 2030 de estas tres categorías recurrimos a las estimaciones de Rho Motion (2021), ilustrada en la Figura 5. Se clasifican las ventas proyectadas de automóviles en cuatro categorías: BEV livianos (por livianos nos referimos a vehículos 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* o ICE) y otros. De igual forma, se ilustra la penetración o participación del segmento BEV y PHEV dentro de las ventas totales proyectadas.

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.

Figura 5: Ventas de vehículos nuevos (millones de unidades) y penetración BEV+PHEV (%), 2019-30

Fuente: Cochilco en base a Rho Motion (2021), EV Volumes (2021) y IEA (2021).

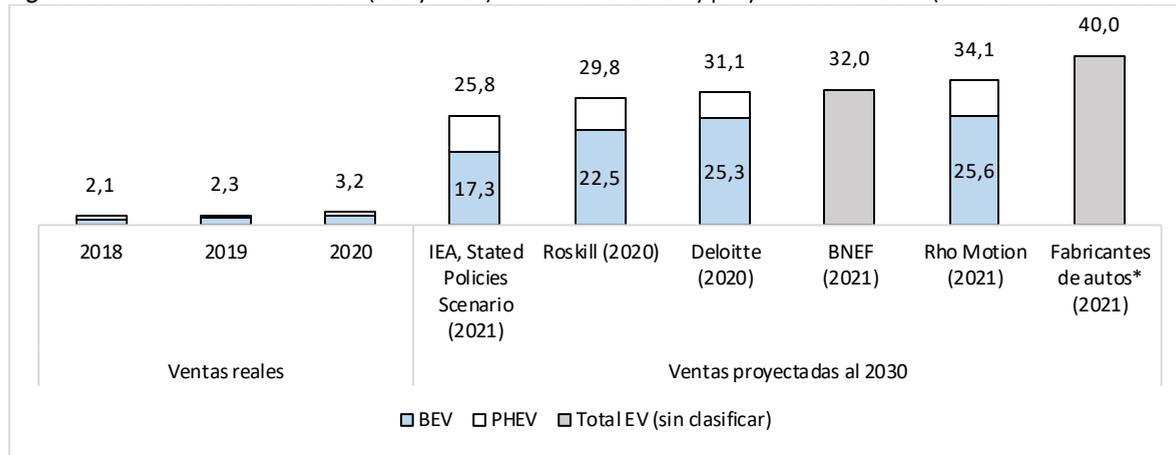
Si bien la pandemia del virus Covid-19 generó una reducción significativa en las ventas totales de automóviles de 92,7 a 80,6 millones entre 2019 y 2020 (-13%), el mayor impacto se registró en el segmento de vehículos no-eléctricos, representado casi en su totalidad por automóviles de combustión interna (ICE). No obstante sigue siendo el segmento dominante con el 96% del mercado en 2020, sus ventas totales cayeron de 90,6 a 77,4 millones entre 2019 y 2020 (-15%).

En paralelo, contraviniendo la expectativa inicial del mercado que esperaba una caída importante en las ventas de BEV y PHEV (BloombergNEF, 2020; Wood Mackenzie, 2020) y también la proyección anterior de Cochilco (2020), las ventas en realidad se incrementaron significativamente de 2,2 a 3,2 millones de unidades (+47%), lo que demuestra las bases incipientes pero sólidas de este segmento. Se espera que el alto crecimiento continúe, proyectándose al 2030 ventas por 34,1 millones de unidades (33,6 millones en el segmento de autos de pasajeros), lo que equivaldría pasar desde un 4% de las ventas totales del sector automotriz en 2020 a alrededor del 31% en 2030.

Cabe advertir que este crecimiento esperado supone superar en más de 10 veces las ventas de 2020 y una tasa de crecimiento compuesto anual de 27%. Si bien en principio esto puede parecer excesivo, está alineado con las proyecciones generales del mercado. A modo referencial, la Figura 6 ilustra las proyecciones al 2030 de Deloitte (2020), la Agencia Internacional de Energía en su *Stated Goals Scenario*, el cual es sustancialmente más conservador que su *Sustainable Development Scenario* (IEA, 2021), BloombergNEF (2021) y los mayores fabricantes vehiculares seleccionados y encuestados por BloombergNEF (2021). En general vemos que la proyección de 34 millones de Rho Motion está ligeramente por encima por las estimaciones realizadas por las otras agencias e instituciones, pero igualmente dentro de un rango 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 proyección de demanda agregada de litio.

Figura 6: Ventas de autos eléctricos (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 EV Volumes (2021), IEA (2021), Deloitte (2020), Roskill (2020), BloombergNEF (2021) y Rho Motion (2021).

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 tres 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. Para esta proyección, recurrimos a las estimaciones de Rho Motion.
- 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 2030.

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

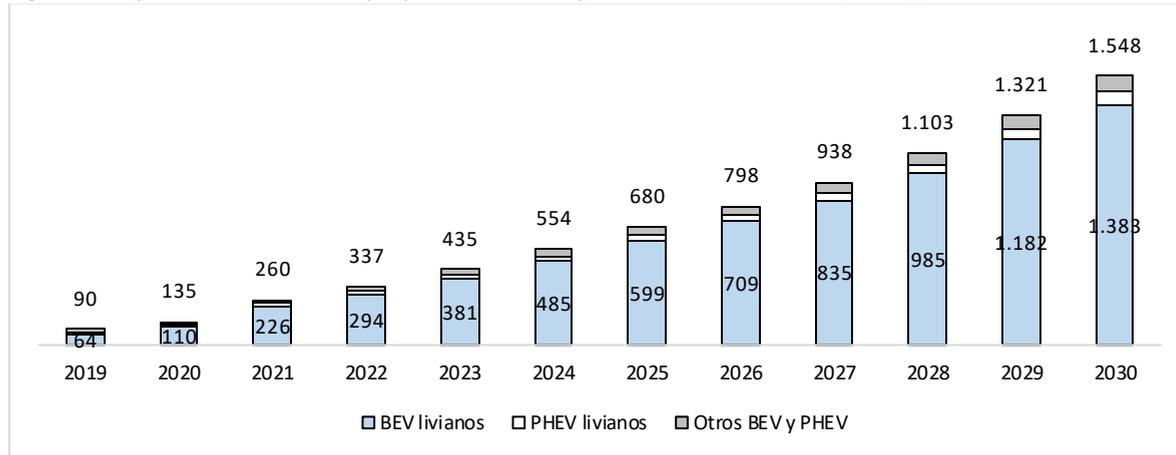
- En primer término, para cada tipo de batería de ion-litio revisamos cuanto litio contienen en promedio en sus cátodos. Estas estimaciones en general son altamente similares para cada tecnología de cátodo, como vimos anteriormente en la Tabla 2.
- En segundo término, obtenemos una proyección de la tasa de penetración de cada tipo de batería para el sector de electromovilidad. Para esto recurrimos a la estimación de BMI, ilustrada anteriormente en la Figura 4.
- Luego, a partir de estas dos 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.

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 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 7 a continuación.

Figura 7: Proyección de demanda proyectada de litio por vehículos eléctricos (kt LCE), 2019-30



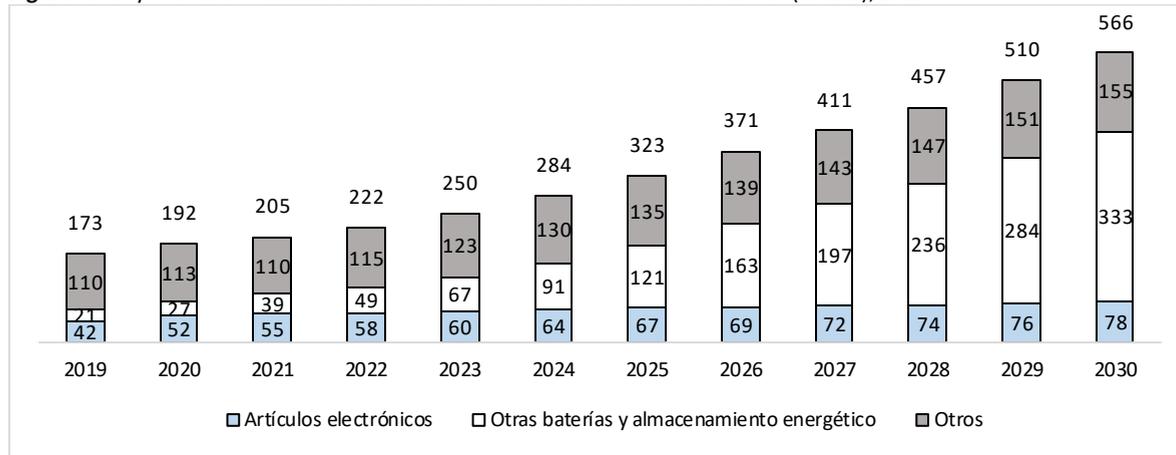
Fuente: Cochilco.

Como se puede apreciar de la Figura, proyectamos que la demanda de litio asociada a electromovilidad se incrementaría desde 135 kt en 2020 a las 1.548 kt LCE hacia el 2030, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 28%. Esto está directamente alineado con el crecimiento esperado en el segmento de vehículos eléctricos, como vimos previamente. Desagregando por tipo de vehículo, esperamos que las ventas de BEV continúen siendo el principal motor de la demanda del segmento. En efecto, pasarían de representar el 81% del total en 2020 un 89% al 2030.

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 más recientes realizadas por BMI (2020) para tasas de adopción de tecnologías de baterías en distintos segmentos de mercado. De manera simplificada, las agruparemos en tres categorías: artículos electrónicos (donde incluimos 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 8 a continuación:

Figura 8: Proyección de demanda de litio no asociada a autos eléctricos (kt LCE), 2019-30



Fuente: Cochilco en base a HSBC (2018) y BMI (2020; 2021).

Cabe señalar que en general varios de estos mercados, tales como la telefonía celular o los computadores portátiles -agrupados en la categoría “artículos electrónicos”- así como los usos relativamente tradicionales del litio -agrupados en la categoría “otros”- son considerados maduros por lo que su proyección de crecimiento es en principio menos variable que en el caso de los vehículos eléctricos. Sin embargo, existen otros con un potencial de expansión que pueden contar con una mayor volatilidad, tales como las baterías de ion-litio para bicicletas electrónicas o *e-bikes*, o los sistemas de almacenamiento energético.

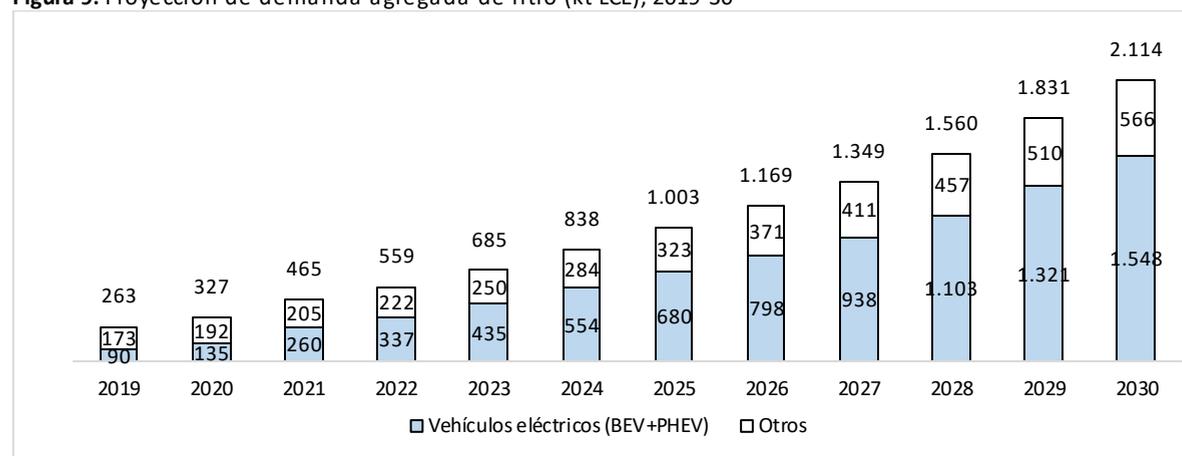
Con todo, si bien se espera que la categoría de sistemas almacenamiento energético presente un crecimiento relativamente alto, es posible que se vea amenazado en el mediano plazo por tecnologías que atenúen significativamente o incluso eliminen el uso de litio. En particular, se ha estudiado el uso del vanadio, considerando posibles ventajas y desventajas frente a las baterías de ion-litio. 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, podemos proyectar finalmente la demanda agregada. Esto se ilustra en la Figura 9 a continuación, separando por el segmento de autos eléctricos y todo lo demás.

Vemos que en suma la demanda de litio crecería desde 327 kt LCE en 2020 hasta 2.114 kt LCE al 2030, lo que supone un crecimiento anual compuesto de 21%. Como se podía anticipar a partir de las proyecciones anteriores, el crecimiento esperado de la demanda de litio depende fundamentalmente del crecimiento de la electromovilidad. En efecto, esperamos que el segmento de vehículos eléctricos pase de representar el 41% del consumo agregado de litio en 2020 a un 73% en 2030.

Figura 9: Proyección de demanda agregada de litio (kt LCE), 2019-30



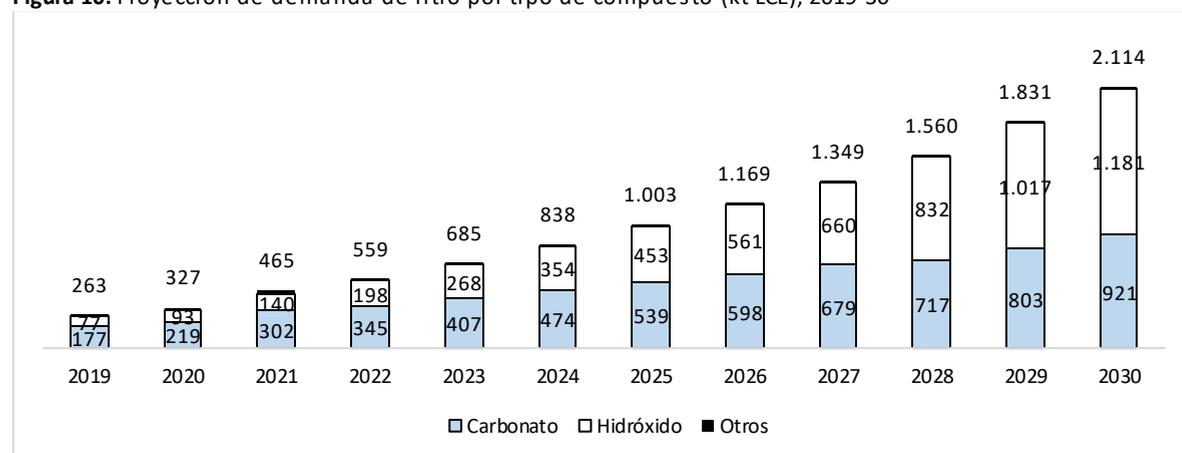
Fuente: Cochilco.

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 10, si bien actualmente estimamos que el carbonato es demandado con mayor intensidad con un 67% del consumo total frente a un 28% para el hidróxido durante 2020, esperamos que a futuro el hidróxido sea el principal motor de la demanda, llegando a un 56% del total versus un 44% para el carbonato hacia el 2030.

Lo anterior se explica mayormente por una inclinación creciente de los fabricantes por baterías del tipo NCM (Níquel-Litio, Cobalto, Manganeso), variedad en la cual, como vimos previamente en la sección 4, se espera que el hidróxido sea crecientemente empleado en detrimento del carbonato.

Figura 10: Proyección de demanda de litio por tipo de compuesto (kt LCE), 2019-30



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 siembra sospechas 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	<ul style="list-style-type: none"> • Atenuación o eliminación de los subsidios 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 • Crisis económicas mundiales (pandemia Covid-19 a partir de 2020)
Largo Plazo	<ul style="list-style-type: none"> • Menor precio del petróleo • Percepciones y patrones de conducta de los consumidores

Fuente: Cochilco.

En general, los riesgos expuestos tienen relación con el costo relativo de los vehículos eléctricos frente a los de combustión interna. Los discutiremos brevemente a continuación.

En primer lugar, se ha discutido profusamente tanto a nivel académico como político que el sector de la electromovilidad se trata de una industria impulsada “artificialmente” por los gobiernos a través de subsidios a la demanda y exigencias a los fabricantes establecidas en China, Europa, Japón y varios estados de EE.UU., entre otras jurisdicciones. Como resultado, cualquier retirada o atenuación de los incentivos económicos a la compra o producción de vehículos eléctricos puede afectar las ventas negativamente del sector.

En segundo lugar, y vinculado a lo anterior, se encuentra el riesgo de que se reduzca la velocidad de mejoras tecnológicas en el desarrollo de baterías de ion-litio, que a su vez se traduzca en el estancamiento de costos de fabricación y, luego, el estancamiento o alza de los precios de mercado. Esto puede tener un impacto relevante si es que el riesgo previamente descrito sobre la retirada de los subsidios económicos a la compra llegase a materializarse.

Como se ilustra en la Figura 11, durante la última década los avances tecnológicos han permitido una reducción año a año en los costos reales de producción, pasando de USD (2020) 668 por kWh en 2013 a USD 137 por kWh en 2020. Sin embargo, 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 lleguen a USD 80 kWh para que 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. BloombergNEF (2021) espera que estos niveles de USD 80 kWh y USD 60 kWh se logren en 2026 y 2029 respectivamente, alcanzado así una relativa paridad en los costos.

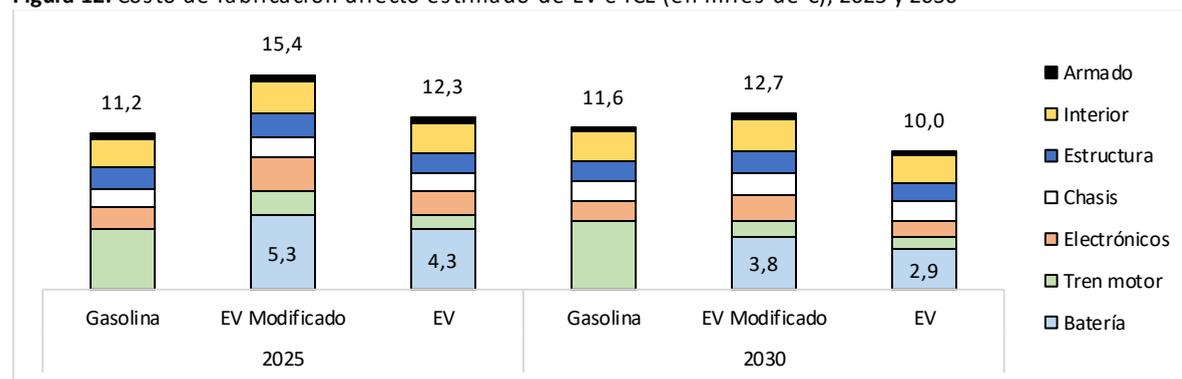
Figura 11: Precio ponderado por volúmenes de venta de celda y pack de batería (USD 2020/kWh)



Fuente: BloombergNEF (2021).

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 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”). Como se ilustra en la Figura 12, de lograr estos cambios, BloombergNEF (2021) espera que el costo de fabricación directo de los vehículos eléctricos sea inferior al de los de combustión interna hacia fines de la década.

Figura 12: Costo de fabricación directo estimado de EV e ICE (en miles de €), 2025 y 2030



Fuente: BloombergNEF (2021).

En tercer lugar, algo que en 2020 se percibió como un riesgo relevante para el desarrollo al menos de corto del sector fue la pandemia Covid-19 y la consecuente crisis económica ocasionada (BloombergNEF, 2020; Wood Mackenzie, 2020). Sin embargo, como vimos en la Figura 5, en la práctica las ventas de vehículos eléctricos aumentaron en 2020 y se prevé que sigan incrementándose en adelante, situación que se dio en contraste directo frente a las ventas de automóviles de combustión interna durante 2020, las cuales disminuyeron. Si bien no discutiremos las posibles explicaciones de este fenómeno, es posible que la crisis económica global represente una oportunidad de crecimiento más que un riesgo.

Dentro de los riesgos de largo plazo, se encuentra el costo relativo de carga de automóvil, la electricidad usada por un vehículo eléctrico BEV frente a los combustibles fósiles usados por uno de combustión interna. Si la cotización internacional del petróleo llegase a caer sustancialmente, esto disminuirá los costos de uso de un vehículo de combustión interna lo que eventualmente se podría traducir en aumentos en los incentivos de uso. Sin embargo, 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 agregado de la electricidad tienda a caer a nivel mundial en el largo plazo, lo que a su vez sería un incentivo a la adopción de vehículos eléctricos.

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 en las baterías de ion-litio, 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.

También está el posible cambio cultural hacia un menor uso general de vehículos asociado a un mayor uso de bicicletas y de transporte público. Sobre esta interrogante, Kroesen (2017), a partir de encuestas de movilidad en Holanda, país con una desarrollada infraestructura ciclista, no encuentra evidencia significativa de que el uso de *e-bikes* actúe como un sustituto para la bicicleta o para la adquisición de vehículos tradicionales. Asociado a esta discusión, se encuentra la percepción y aceptación de parte de los consumidores frente a una nueva tecnología de uso cotidiano, lo cual puede ser, en efecto, un cambio de largo plazo. Esto se ha discutido en profundidad para distintas jurisdicciones. Véase, por ejemplo, Wang, Linhao, & Huizhong (2018) para Shanghái; Globisch, Burghard, & Dütschke (2013) y Ziefle, Beul-Leusmann, Kasugai, & Schwalm (2014) para Alemania; van Heuveln et al. (2021) para Holanda; y una discusión general sobre los factores que facilitan o disuaden la adopción en Rezvani, Jansson, & Bodin (2015).

Por último, además de la industria específica de vehículos eléctricos, hay riesgos de largo plazo de una naturaleza más amplia que potencialmente pueden afectar al sector de baterías de ion-litio por completo, no solo en lo que respecta a la electromovilidad. Aquí cabe, por ejemplo, el potencial desarrollo a escala comercial de baterías de potasio-ion o hidrógeno. Asimismo, como vimos previamente, a nivel específico de baterías de almacenamiento energético, se encuentra el caso del vanadio como posible material sustituto. Ahora bien, aún de ocurrir una transición de este tipo, es improbable que suceda durante la siguiente década, 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*, ocupando el neologismo atribuido a Elon Musk) y no es probable que las dejen de lado a partir de tecnologías aún no escalables comercialmente en relación de la industria de las baterías de ion-litio.

III. Oferta

1. Fuentes de litio

En general se pueden distinguir cuatro fuentes potencialmente explotables de litio en estado natural: a partir de mineral de roca o pegmatitas comúnmente en la forma de espodumeno, salmueras típicamente en reservorios acuosos continentales pero también en depósitos geotérmicos, arcillas y zeolitas. 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, ambligonita 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 (Llamara)
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”, localizado en la zona comprendida 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 litio provenientes 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 realísticamente 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.

³ Sin embargo, los recursos bolivianos presentan una concentración relativamente alta de magnesio, elemento que dificulta y encarece el procesamiento, razón por la cual suelen no ser considerados rentables de explotar.

⁴ En 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).

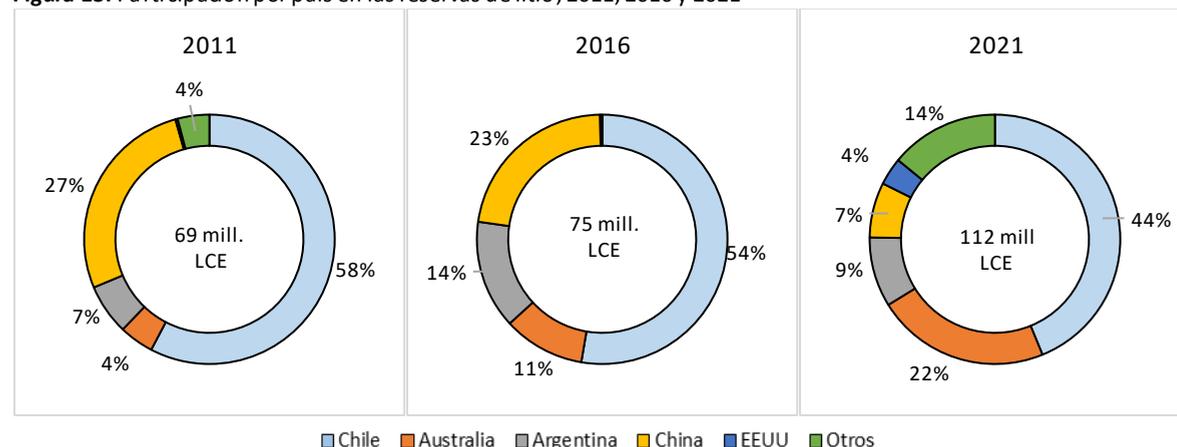
⁵ Se trata de AMG con su operación Mibra. La empresa ya construyó una planta de recuperación de espodumeno a partir de relaves existentes y futuros en sus operaciones de tantalio, logrando una producción estimada de 6 kt de LCE en 2020. Fuera de Mibra, solose

La Figura 13 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 tres momentos del tiempo: 2011, 2016 y 2021. Se desprende del panel (c) que Chile actualmente lidera en reservas, concentrando el 44% del total, las cuales son en su totalidad a partir de salmueras. Le sigue Australia con 22%, las cuales son mayormente de espodumeno, y luego Argentina con 9%, que, al igual que Chile, cuenta exclusivamente con reservas de salmuera.

De igual forma, como se ilustra en la comparación de los tres paneles de la Figura 13, vemos que las reservas mundiales han aumentado año a año. 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, o viceversa en periodos de precios con tendencia bajista), también responde a las actividades de prospección y exploración, tanto en operaciones actuales, o *brownfield*, como en proyectos nuevos, o *greenfield*.

Con todo, vemos que la participación porcentual de las reservas por país ha mostrado cambios relevantes. En particular, destaca Australia, país que ha cuadruplicado su participación desde un 4% en 2011 a un 11% en 2015 y un 22% en 2021. Como contraparte, se encuentra Chile, que si bien ha mantenido sus reservas en un rango de 40 y 49 millones de toneladas de LCE en los tres años considerados⁶, ha disminuido progresivamente su participación, pasando de un 58% en 2011 a un 54% en 2016 y finalmente un 44% en 2021. Si bien sabemos que algunas empresas nacionales han invertido en exploración hidrogeológica y han logrado incrementar sus reservas, la caída en la participación nacional sobre el total mundial sugiere un menor desarrollo prospectivo en Chile en relación a otros países ricos en litio.

Figura 13: Participación por país en las reservas de litio, 2011, 2016 y 2021



Fuente: Cochilco en base a USGS (2021; 2016; 2011).

prevé el desarrollo de una operación adicional de este tipo durante la década. Se trata de Zimbabwe Lithium en los relaves de Kamativi Sn, que podría comenzar en 2024.

⁶Si bien la estimación y medición de reservas siempre es una tarea delicada, en el Anexo se presenta una somera discusión de carácter preliminar de las reservas de litio en Chile.

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 la producción a partir de pegmatitas fue en 2020 la principal fuente de oferta, representando un 52% del total.

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 pasar por carbonato como ocurre en los depósitos de salmuera⁷. 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 consumo.

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 naturaleza química (evaporación y precipitación). Como consecuencia, dependiendo en parte de las tasas de evaporación e impurezas de magnesio 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 de litio (2020)

Tipo	Part. nivel mundial	Método de extracción	Rango estándar* costos ('000 USD/t)		Tiempo promedio	Subproductos típicamente asociados en yacimiento
			Carb.	Hidr.		
Pegmatitas	52%	Mina subterránea o rajo abierto	5,6-6,5	4,7-5,5	1-2 meses	Estaño, tantalio y niobio
Salmueras	48%	Evaporación y precipitación	3,6-5,0	4,2-5,2	18-24 meses	Potasio, boro

*Sin incluir *royalties* e impuestos y considerando operaciones de pegmatitas integradas (i.e. mina y planta química). Fuente: Cochilco en base a diversas fuentes de mercado.

Al 2020, Australia contribuyó el 91% de la producción a partir de yacimientos de espodumeno. En paralelo, la producción a partir de salmueras provino principalmente de Chile con el 66% del subtotal, seguido de Argentina con el 17%, países que actualmente sólo producen litio a partir de esta categoría (no obstante, Argentina cuenta con yacimientos de espodumeno, mientras que Chile cuenta con recursos de arcillas y salmueras geotérmicas).

Por otra parte, China, país que concentra la refinación del litio a partir del espodumeno australiano, entre importaciones de litio desde otros países, incluyendo Chile, también tiene producción doméstica. Durante 2020, estimamos que contribuyó el 8% de la producción mundial de litio a partir de salmueras y el 5% de la producción mundial a partir de pegmatitas.

⁷ Luego del bombeo extractivo de las salmueras, el agua es progresivamente evaporada en piscinas de evaporación hasta que queda una solución acuosa concentrada con cloruro de litio, magnesio y boro. Esta solución es tratada con carbonato de sodio para precipitar carbonato de litio, el cual luego es filtrado y secado.

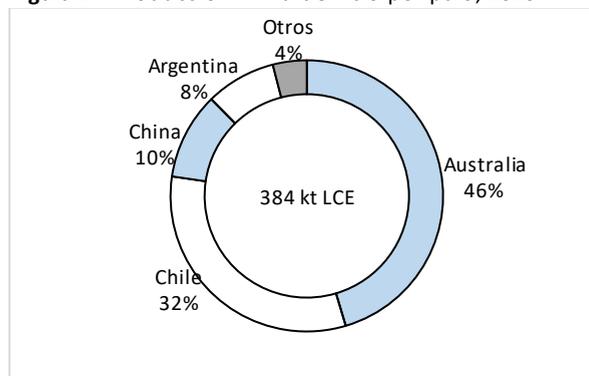
3. Participación de mercado

a. Por país

Considerando la producción mina, vemos de la Figura 14 a la derecha que Australia es el principal productor a nivel mundial, contribuyendo cerca de la mitad de la producción mundial (46%). Le sigue Chile (32%), China (10%) y Argentina (8%).

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

Figura 14: Producción mina de litio por país, 2020

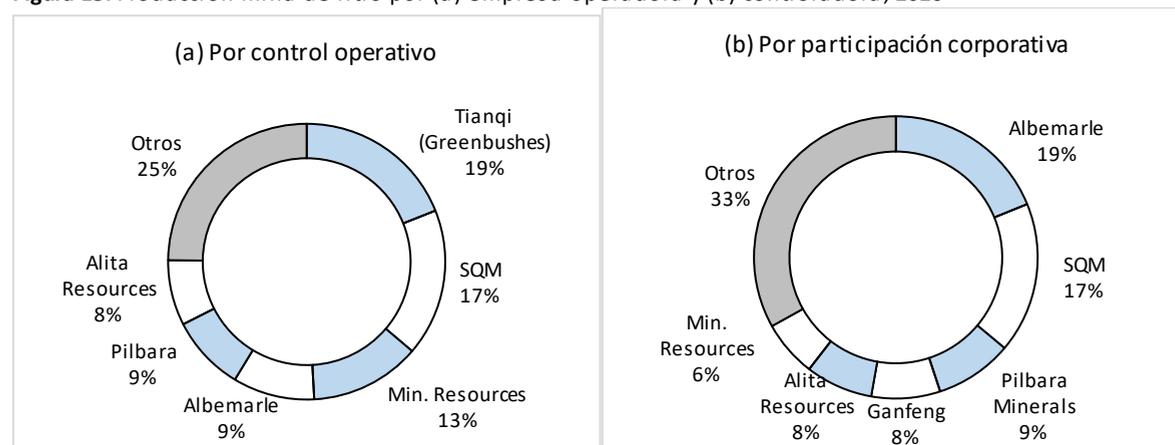


Fuente: Cochilco en base a Sernageomin (2021) y BMI (2021).

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 operaciones⁸. Luego, a partir de la producción y la participación, podemos calcular la producción atribuible por empresa. En la Figura 15 se grafican ambas distinciones.

Figura 15: Producción mina de litio por (a) empresa operadora y (b) controladora, 2020



Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2021).

⁸ 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%), empresa que, a pesar de contar con una participación menor a Albemarle, retuvo el control operativo.

Como se puede deducir, el mercado está altamente concentrado y, en efecto, se puede definir como un oligopolio (Nikkei Asia, 2021) o al menos como un mercado con características oligopólicas (Jeon & Mo, 2018). Así, midiendo por participación corporativa en 2020 vemos que dos empresas, Albemarle y SQM, concentraron el 36% de la producción mina agregada, y, si se agregan las cuatro empresas siguientes, se llega a un 60%. Esta situación contrasta, por ejemplo, con el mercado del cobre, donde el mayor actor mundial, Codelco, actualmente no contribuye más del 10% de la producción mina agregada, y se debería considerar a alrededor de 20 empresas para alcanzar una proporción equivalente al 60% de la producción mina. Ahora bien, cabe señalar que -en aras de los nuevos proyectos a desarrollarse a nivel mundial- es esperable que en el mediano y largo plazo la participación corporativa entre en una etapa de mayor disgregación.

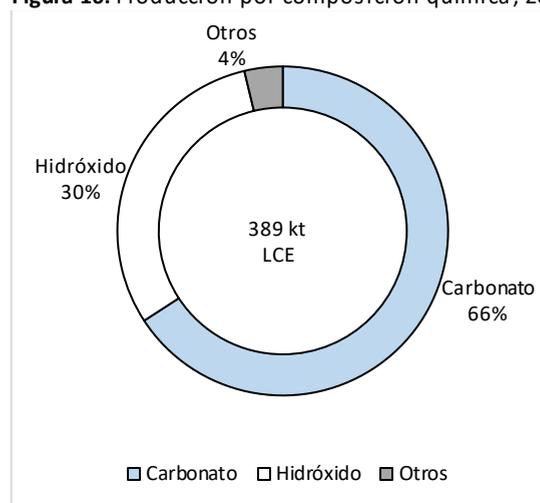
Con todo, actualmente Albemarle lidera la producción por control corporativo con cierta amplitud, posición que en gran parte viene dada fundamentalmente por su participación de 51% en la mayor faena de litio del mundo, Greenbushes en Australia Occidental, junto a sus operaciones en el Salar de Atacama,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

4. Producción por compuesto químico

Como se observa en la Figura 16 a la derecha, en 2020 el 66% de la oferta química de litio correspondió a carbonato, seguido a distancia por hidróxido con un 30%.

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 eventualmente alcance al carbonato, como veremos más adelante.

Figura 16: Producción por composición química, 2020



Fuente: Cochilco en base a BMI (2021).

5. Costos de producción

a. Rango de costos estimados

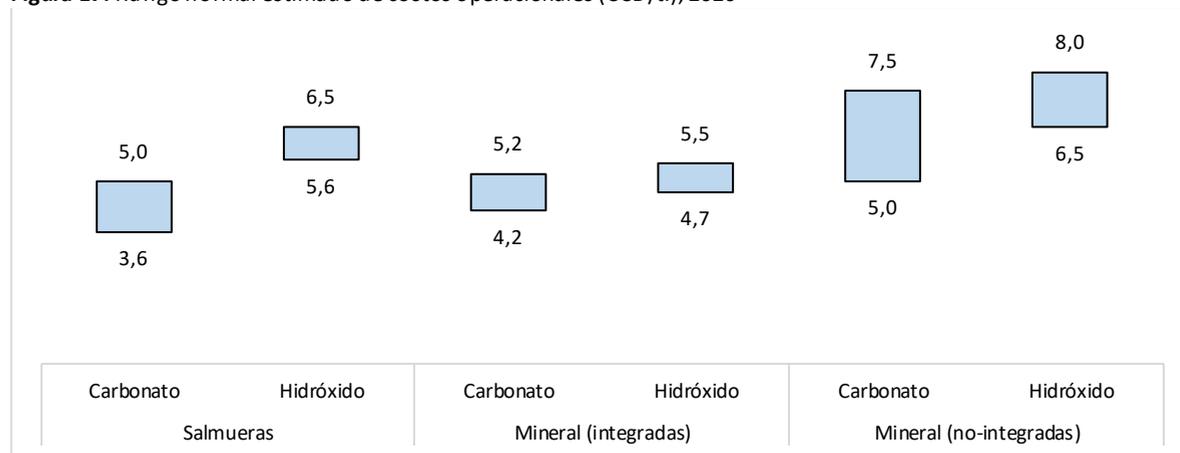
Como se ilustra en la Figura 17, en general los costos operacionales pueden variar significativamente según el tipo de producto final, sea carbonato o hidróxido de litio, y el tipo de operación considerada, sean de salmueras o bien de mineral de roca. Las operaciones de mineral de roca pueden estar integradas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

De la Figura se desprende 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 integradas, 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 y otras fuentes de mercado.

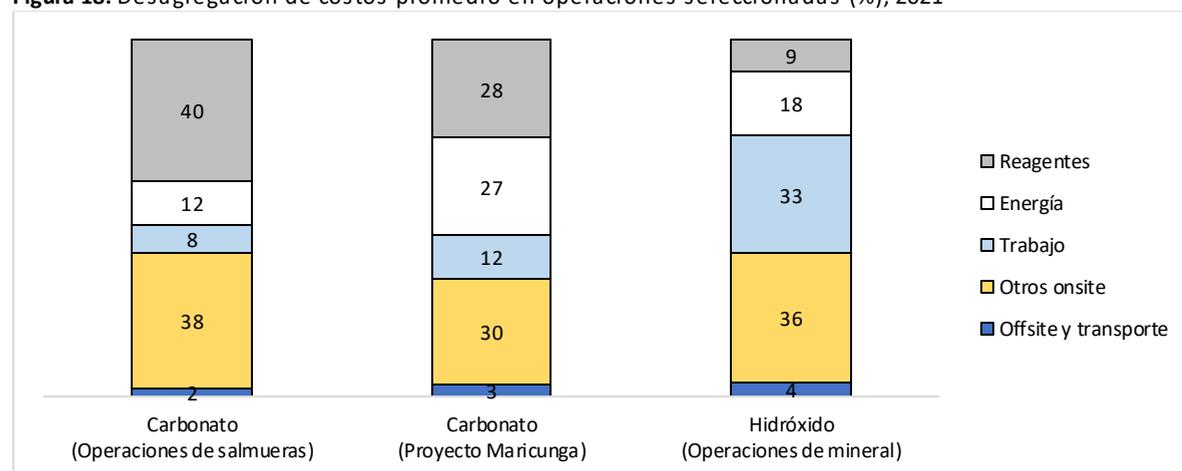
b. Desagregación por insumo

En general las estructuras de costos varían significativamente dependiendo del tipo de operación, lo que a su vez es fruto de la naturaleza de cada tipo de yacimiento. Como mencionamos en el punto 2 del presente capítulo, 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 ilustra la participación en los costos productivos del cloruro, carbonato e hidróxido de litio a partir de operaciones de salmuera, y, en paralelo, de concentrados, carbonato e hidróxido de litio a partir de operaciones de mineral de roca usando estimaciones de costos operacionales de S&P Global Market Intelligence (2021) y del Proyecto Blanco en Maricunga de Minera Salar Blanco según estimaciones de su estudio de factibilidad (WorleyParsons, 2019).

Como se puede constatar, los reagentes químicos (principalmente hidróxido de sodio o soda caustica, carbonato de sodio, óxido de calcio o cal y ácido sulfúrico), que son usados para convertir los minerales concentrados en compuestos químicos de litio, tienden a ser el principal costo en las operaciones de salmueras⁹. Por el contrario, en las operaciones de roca priman los costos de extracción y procesamiento del mineral (Pilbara Minerals, 2017).

Figura 18: Desagregación de costos promedio en operaciones seleccionadas (%), 2021



Nota: No se incluyen royalties ni impuestos a las ganancias.
 Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2021).

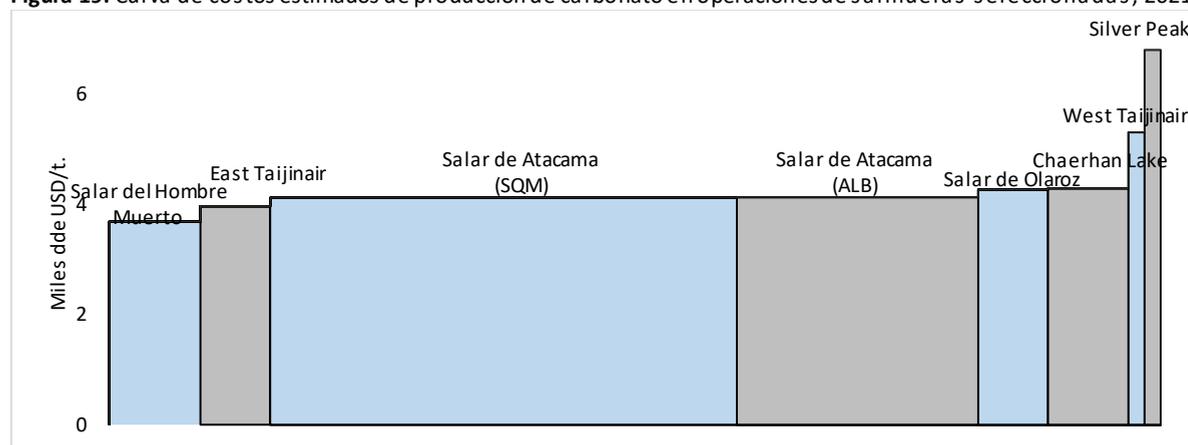
⁹ De acuerdo a estimaciones de Lithium Power International para su proyecto Salar Blanco en Maricunga, más del 90% de los costos químicos corresponden a carbonato de sodio, considerando que para producir una tonelada de carbonato de litio se requieren unas 2,3 toneladas de este material (WorleyParsons, 2019).

c. Operaciones de salmueras

Por último, la Figura 19 ordena a las operaciones de litio según sus costos estimados y producción. En esta oportunidad, dada la falta de datos suficientes para las operaciones de mineral de roca, sólo consideraremos la producción de carbonato a partir de operaciones seleccionadas de salmueras.

En general, vemos que los costos de las principales operaciones tales como Salar del Hombre Muerto de Livent en Argentina, las faenas de SQM y Albemarle en el Salar de Atacama, Chile, y proyectos otros países son relativamente similares. Destacan como excepciones West Taijnair en China (en gran parte debido a un mayor gasto energético, lo que a su vez se explica parcialmente por condiciones menos favorables de evaporación y un mayor grado de impureza en los salares) y Silver Peak de Albemarle, la única operación productiva existente en EE.UU., que a comienzos de 2021, anunció planes de expandir su producción (Mining Journal, 2021).

Figura 19: Curva de costos estimados de producción de carbonato en operaciones de salmueras seleccionadas, 2021



Nota: No se incluyen royalties ni impuestos a las ganancias.
Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2021).

Con todo, se debe hacer hincapié en que en estas últimas dos figuras no estamos incluyendo los costos por *royalties* e impuestos, cuestión que ha tenido un impacto relativamente alto a raíz de los tributos aplicados en Chile a partir de la renegociación de los contratos de arriendo entre Corfo y Albemarle en 2016 y luego con SQM en 2018, y la introducción de aranceles de exportación o retenciones a una serie de productos en Argentina, incluyendo químicos de litio. Si bien estas tarifas eran de índole temporal hasta el 31 de diciembre de 2020, fueron extendidas hasta al menos el 31 de diciembre de 2021. En septiembre de este 2021 el gobierno sugirió que podrían ser reemplazadas por retenciones progresivas proyecto a proyecto en el marco del Plan Estratégico para el Desarrollo Minero Argentino (PEDMA) del país (Econo Journal, 2021).

Ahora bien, tanto la caída sostenida en los precios entre 2018 y 2020 como la depreciación del peso argentino ha atenuado significativamente el efecto de estos tributos especialmente durante 2020. A esto se suma una caída en las cotizaciones internacionales del carbonato de la soda caustica a partir de comienzos de 2018 y del ácido sulfúrico durante 2019, lo que ha ayudado a aminorar progresivamente los costos operacionales directos entre 2019 y 2020.

6. Proyección de la producción de litio mina al 2030

a. Producción mina por tipo de operación

A fin de estimar la producción mina por país, partimos de la base de la proyección realizada por BMI (2021) para cada operación de litio actualmente operando así como de proyectos con entrada probable o posible de operar en los próximos años. Adicionalmente, se hicieron una serie de ajustes:

- Para la producción de las operaciones chilenas de SQM y Albemarle, se formularon proyecciones en base a sus comportamientos históricos y planes de expansión anunciados. En particular, para cada empresa se tomó el cociente entre su producción histórica durante la última década y su capacidad de producción estimada a lo largo del periodo. Luego se multiplicó este factor por su capacidad futura proyectada. A fin de considerar posibles atrasos o eventualidades negativas, se consideraron deducciones de 10%, 5% y 2,5% para los primeros tres años de expansión de capacidad.

De igual forma, se consideró la entrada operacional de Proyecto Blanco de Minera Salar Blanco (MSB) a partir de 2025 ocupando los factores de producción históricos combinados de SQM y Albemarle. Adicionalmente, si bien se trata de un proyecto con una producción relativamente pequeña en relación a SQM y ALB, al tratarse de un proyecto nuevo con un mayor grado de incertidumbre de materialización, se consideró una deducción de 50% a lo largo de todo su desarrollo productivo.

- Para las operaciones fuera del país, se consideraron las estimaciones de producción por faena y proyecto de BMI. Se consideraron operaciones existentes, expansiones de operaciones existentes, operaciones en mantención y proyectos nuevos, dividiendo a estos últimos según su probabilidad esperada de materialización: altamente probables, probables y posibles.

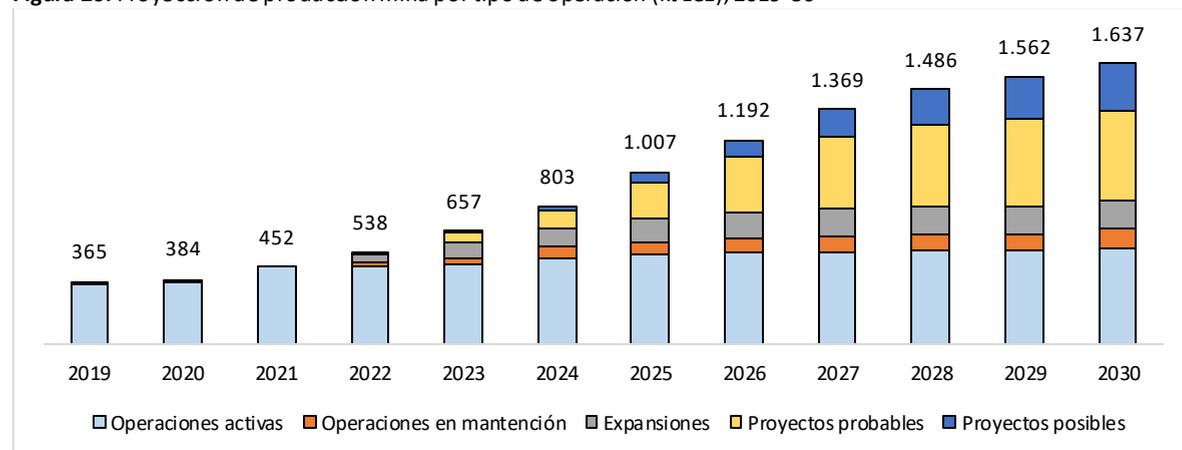
Para cada operación y proyecto consideramos deducciones por interrupciones y pérdidas operacionales de un 5%, rebaja por posibles pérdidas operacionales de 5% y otros descuentos que varían en función de la incertidumbre asociada a su materialización esperada. En particular, para proyectos posibles, 50%; para proyectos probables, 25%; y para proyectos altamente probables y expansiones, 10%.

A partir de lo anterior, la Figura 20 ilustra la producción mina esperada según tipo de operación y proyecto. Comparando 2019 con 2020, se observa como la oferta productiva se mantuvo relativamente estable, creciendo cerca un 5%. Por otro lado, mirando hacia el futuro, se destaca en primer lugar el salto esperado en la producción que pasaría de 384 kt LCE en 2020 a 1.637 kt LCE en 2030, lo que supone un crecimiento promedio anual compuesto de 16%. Este incremento está fuertemente asociado a la entrada operacional de proyectos nuevos, considerando tanto posibles como probables. En efecto, estimamos que al 2030 los proyectos probables contribuyan el 32% de la producción mina. Al sumar los posibles, se alcanza el 49% del total proyectado.

Por escala productiva, los principales proyectos probables a entrar en operación son el de espodumeno Manono, de AVZ Minerals, en la República Democrática del Congo, que entraría en producción en 2023 y aportaría cerca de 80 kt LCE hacia fines de la década. Le sigue a distancia el proyecto de salmueras de Cauchari Olaroz en Argentina, a desarrollarse por Lithium Americas (Gangfeng Lithium), que se espera entre en producción en 2022, aportando alrededor de 32 kt LCE hacia 2030; y el proyecto de espodumeno Mt. Holland en Australia, a desarrollarse por Covalent (SQM y Wesfarmers), también proyectándose una contribución de cerca de 32 kt hacia fines de la década.

Por otra parte, las operaciones actualmente operativas, si bien incrementarían su producción desde 365 kt LCE a 562 kt LCE, naturalmente disminuirían su participación en la proyección de producción agregada al 2030. Así, estimamos que llegaría a representar un 34%. Ahora bien, si se agregan las expansiones proyectadas por parte de operaciones activas, se alcanza a un 44% del total. Las principales expansiones previstas corresponden a SQM en el Salar de Atacama con la puesta en marcha operativa de su planta 180 kt/a de carbonato de litio, aportando cerca de 60 kt adicionales una vez en régimen, y de Pilbara Minerals en su faena de espodumeno Pilgangoora en Australia, contribuyendo unas 30 kt adicionales.

Figura 20: Proyección de producción mina por tipo de operación (kt LCE), 2019-30



Fuente: Cochilco en base a BMI (2021) y Se rnageomin (2021).

b. Producción mina por país

Como se ilustra en la Figura 21, se espera que los mayores incrementos provengan de Australia, pasando de producir 174 kt en 2020 a 415 kt en 2030, más que duplicando su producción actual. Esto iría de la mano tanto de proyectos nuevos como Mt. Holland así como de expansiones productivas en sus operaciones ya existentes, como Pilgangoora.

Argentina también incrementaría fuertemente su producción, llegando a igualar a la producción de Chile hacia fines de la década con alrededor de 238 kt LCE. Este rápido crecimiento se atribuye a la entrada operacional de varios proyectos nuevos con alta probabilidad de materialización, tales como Centenario Ratones, Sal de Vida, Kachi, Pastos Grandes, Salar de Rincón y Tres Quebradas.

Estos contribuirían alrededor de 135 kt LCE, lo que es más de cuatro veces la producción total de Argentina en 2020.

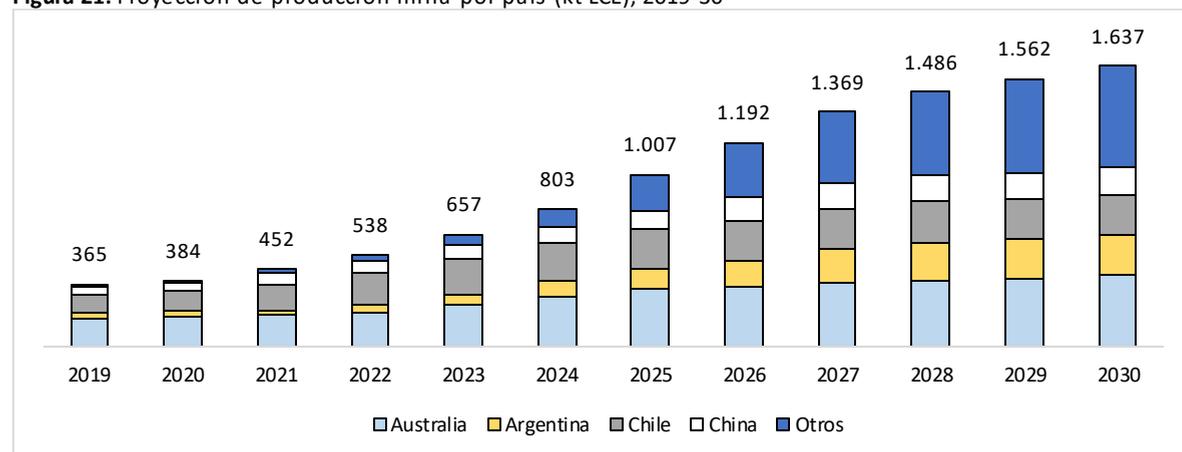
Chile y China por su parte, si bien incrementarían su producción principalmente de la mano de expansiones y mayor producción de operaciones ya existentes, continuarán en una senda de menor participación en la producción agregada. Discutiremos con mayor detención la situación de Chile en específico en la sección 7 del presente capítulo.

Por último, se debe subrayar el hecho de que proyectamos que la producción en otros países aumente significativamente, destacando la participación de varias jurisdicciones que actualmente no cuentan con explotación a escala industrial.

- En el continente africano se cuentan algunos megaproyectos con una probabilidad relativamente alta de materialización, destacando Manono en la República Democrática del Congo y Goulamina en Mali. Esto sumado a otros proyectos permitiría que África pase a proveer unas 5 kt en 2020 a unas 150 kt LCE hacia fines de la década.
- En Europa, continente donde actualmente solo existe una operación, Alvarrões en Portugal, también cuenta con varios proyectos en etapas relativamente tempranas, destacando Jadar en Serbia, Cornwell en Reino Unido y Taro/Ortenau en Alemania, lo que permitiría proyectar la producción de Europa hasta 90 kt LCE al 2030.
- En Norteamérica, fuera del crecimiento esperado de EE.UU. (que hoy cuenta con producción en Silver Peak y se espera que la incremente gracias a Thacker Pass y Rhyolite Ridge, entre otros), se destaca Canadá con un amplio portafolio de inversiones, destacando por su probabilidad de materialización y capacidad productiva James Bay, Whabouchi y Abitibi, entre otros, con lo que se proyecta que produzca más de 100 kt hacia 2030.
- En Latinoamérica, además de Argentina, Brasil y Chile, países que ya cuentan con producción, destacan los proyectos de Sonora en México y Falchani, en Perú, aunque proyectamos que este último entraría en producción solo a finales de la década.

Esta mayor diversificación geográfica en la producción está dirigida en varios casos por nuevas empresas, lo cual se espera contribuya a una menor concentración de la oferta en general.

Figura 21: Proyección de producción mina por país (kt LCE), 2019-30

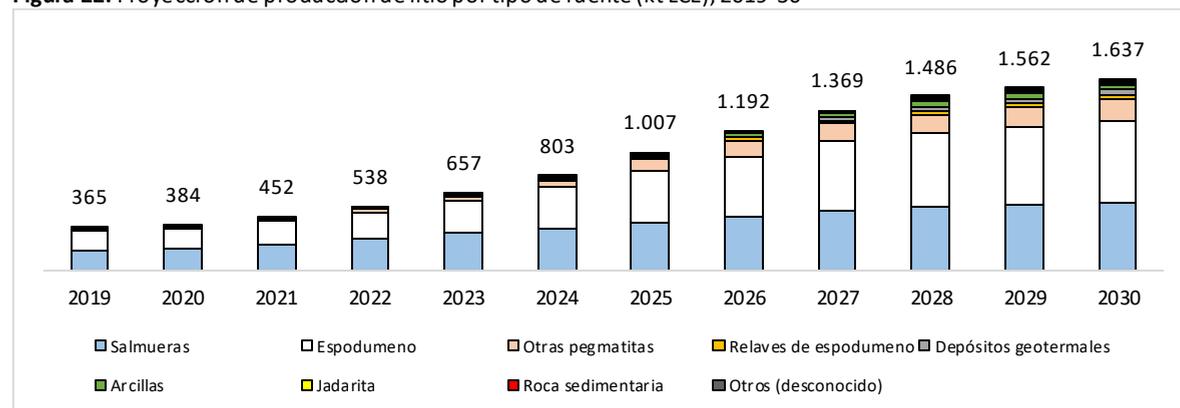


Fuente: Cochilco en base a BMI (2021) y Sernageomin (2021).

c. Producción mina por tipo de fuente

Como se desprende de la Figura 22, si bien la producción mina continuará estando dominada por la explotación de yacimientos de salmueras y espodumeno, esperamos que durante la década se integren nuevas fuentes de oferta, tales como arcillas, jadarita, roca sedimentaria y depósitos geotermales. Al 2030 proyectamos que estas fuentes aportarían alrededor de 133 kt, lo que equivale al 8% de la producción mina agregada en nuestro modelo.

Figura 22: Proyección de producción de litio por tipo de fuente (kt LCE), 2019-30



Fuente: Cochilco en base a BMI (2021) y Sernageomin (2021).

d. Producción secundaria

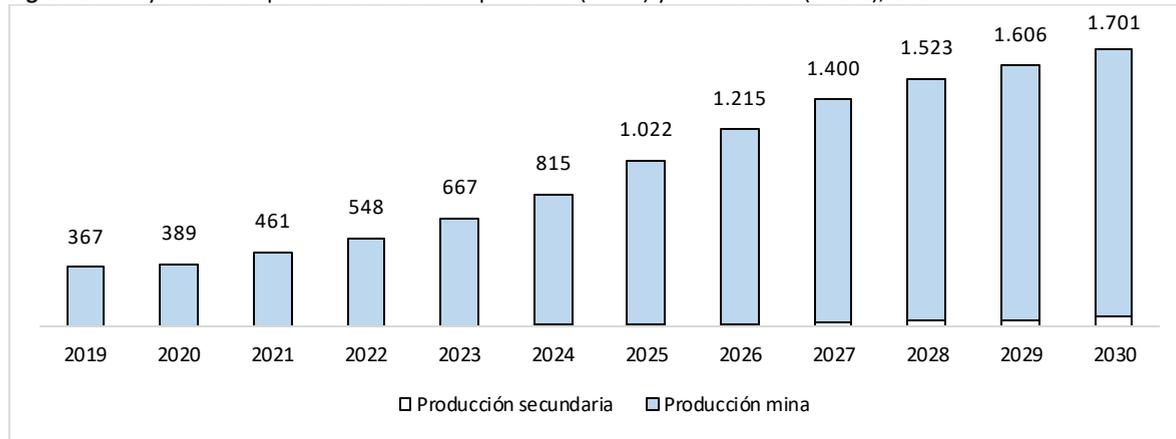
Por otra parte, un aspecto crecientemente relevante es la producción secundaria de litio, industria que ya ha desarrollado cierta capacidad de procesamiento. De acuerdo a Roskill (2020), en 2019 se contabilizaron 53 centros de reciclaje de baterías de ion-litio, 24 en China, 9 en Europa, 8 en Norteamérica, 6 en Corea del Sur y otros 6 en Japón. En Europa y EE.UU. la mayor parte de los centros son negocios separados mientras que en Asia están relativamente integrados. En China, en particular, están conectados a fabricantes de baterías y autos eléctricos.

Con todo, a medida que el uso de artículos electrónicos y autos eléctricos aumente, se podrá generar una mayor recolección de baterías de ion-litio que hayan cumplido su vida útil¹⁰. Como resultado, esperamos que la producción secundaria de litio crezca de 5 kt LCE en 2020 a alrededor de 64 kt LCE hacia fines de la década. Con esto, la oferta agregada de litio, considerando la producción mina (primaria) y la secundaria llegaría a 1.701 kt LCE hacia 2030 (véase Figura 23).

Ahora bien, hay varios elementos que pueden conspirar en contra del crecimiento de la producción secundaria. Por una parte, el reciclaje de materiales en baterías de ion-litio se tiende a concentrar en el níquel y el cobalto, en tanto son de una recuperación relativamente expedita y además tienen un alto valor. Por otra parte, las tecnologías de recuperación de litio a escala industrial y que resulten aceptables desde un punto de vista medioambiental aún están en etapas de perfeccionamiento.

¹⁰ Este punto puede verse impulsado por acciones gubernamentales. En diciembre de 2020, la Comisión Europea propuso establecer cuotas para las baterías que se comercialicen en Europa. Según la propuesta, a partir de 2027, las baterías usadas en vehículos eléctricos deberán contar con una declaración de su contenido reciclado de cobalto, plomo, litio y níquel, y al 2030, se introducirían cuotas mínimas de reciclaje. En el caso del litio, esta cuota se cifra en 4%, que a partir de 2035 se aumentaría a 10% (Comisión Europea, 2020).

Figura 23: Proyección de producción de litio primaria (mina) y secundaria (kt LCE), 2019-30



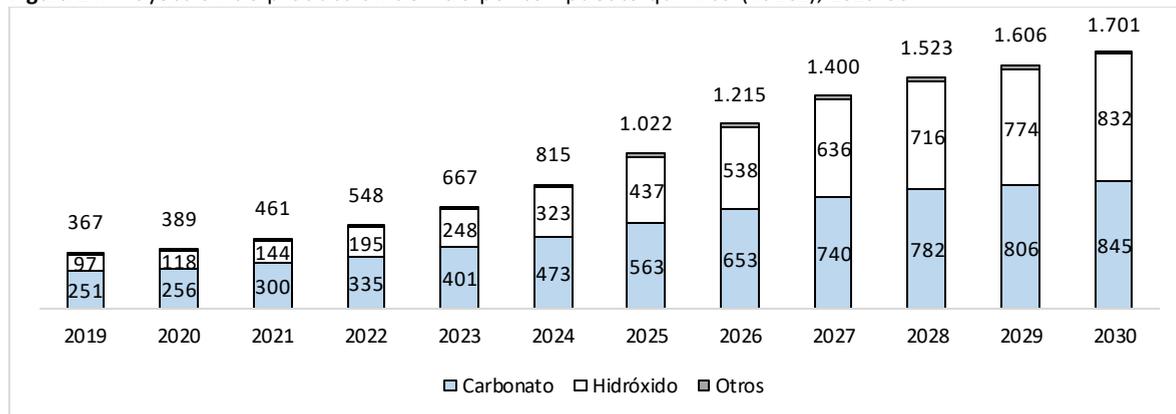
Fuente: Cochilco en base a BMI (2021) y Sernageomin (2021).

e. Producción por compuesto químico

Históricamente el carbonato de litio ha sido el compuesto químico más demandado en las baterías de ion-litio. Sin embargo, a medida que los fabricantes privilegian las especificaciones con mayor uso de níquel, el carbonato progresivamente ha ido perdiendo terreno frente al hidróxido. En efecto, como se desprende la Figura 24, mientras que en 2020 la producción de carbonato de litio más que duplicó a la de hidróxido, ya para fines de la década se espera que la producción tienda a equipararse, con un 50% del total para el hidróxido y un 49% para el carbonato.

Con todo, es importante tener en cuenta que ambos compuestos seguirán creciendo en su producción y consumo, pero la tendencia gradual de los fabricantes de cátodos por favorecer el hidróxido hace relativamente más favorable la explotación de mineral de roca en desmedro de los reservorios de salmueras. En parte por estos motivos, algunos de los productores de litio a partir de salmueras, han invertido en una mayor capacidad de conversión de carbonato a hidróxido o bien han apostado directamente en proyectos de roca en nuevas jurisdicciones. Tal es el caso, por ejemplo, de SQM con su proyecto Mt. Holland en Australia, en asociación con Wesfarmers.

Figura 24: Proyección de producción de litio por compuesto químico (kt LCE), 2019-30



Fuente: Cochilco en base a BMI (2021) y Sernageomin (2021).

7. Producción nacional de litio

a. Crecimiento en capacidad y en producción

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 en 2018 con SQM, ambas empresas han dado pie a expansiones de capacidad y producción, las cuales se resumen en la Tabla 6.

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

Proyecto	Operador	Ubicación	Capacidad anual (kt/a)		Etapa	Permisos SEA	Inversión estimada (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 Fase II: Δ^+ a 24 (nueva planta) Fase III: Δ^+ a 36 (otra 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	-	Fase I en operación, Fase II en desarrollo	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 40-100 (a partir de nueva planta dual 60 kt)	En espera aprobación SEA	DIA presentado (2021)	987
Ampliación Planta Carbonato La Negra Fase III/IV	ALB	Salar de Atacama	Δ^+ a 88	-	Ejecución	DIA Aprobado (2017)	300
Proyecto Blanco	Minera Salar Blanco	Salar de Maricunga	20 (original) 15 (etapa inicial)	-	Espera const.	EIA Aprobado (2020)	527
Producción de Sales Maricunga	SIMCO	Salar de Maricunga	5,7	9,1	Factibilidad completa	EIA Aprobado (2020)	350

Fuente: Cochilco en base al Servicio de Evaluación Ambiental e informes corporativos de las empresas.

Como se desprende de la tabla, tanto SQM como Albemarle han logrado avances relevantes en sus planes de expansión, los cuales se espera continúen hasta el próximo año. A continuación se describe el estado de avance proyectado a partir de reportes trimestrales de ambas empresas.

- SQM está desarrollado la segunda fase de su plan de su Ampliación en el Salar del Carmen para llegar a una capacidad de producción de hidróxido inicialmente proyectada de 36 kt/a. En paralelo, cuenta con la Ampliación de su Planta de Carbonato a 180 kt por año. En su reporte del primer trimestre de 2021, anunció que en 2021 buscarían alcanzar una capacidad de 21,5 kt/a en hidróxido y 30 kt/a al 2022 (SQM, 2021). Posteriormente, en su reporte del tercer trimestre de 2021 (SQM, 2021), informó haber alcanzado una capacidad de 120 kt de carbonato, con el objetivo al 2022 de aumentar la capacidad a 180 kt de carbonato y 30 kt de hidróxido. En paralelo, en diciembre de 2021 SQM ingresó al Servicio de Evaluación Ambiental el proyecto “Aumento de Capacidad y Optimización Producción Planta de Litio Carmen”, a través del cual

se busca incrementar gradualmente la capacidad de producción hasta llegar a las 270 kt/a. De obtener su RCA favorable, lograría una capacidad total de 210 kt/a de carbonato desde la planta actual (la cual alimenta las líneas base de hidróxido, para llegar a 40 kt/a) y 60 kt/a de Carbonato y/o Hidróxido proveniente de la nueva planta dual al norte de la faena.

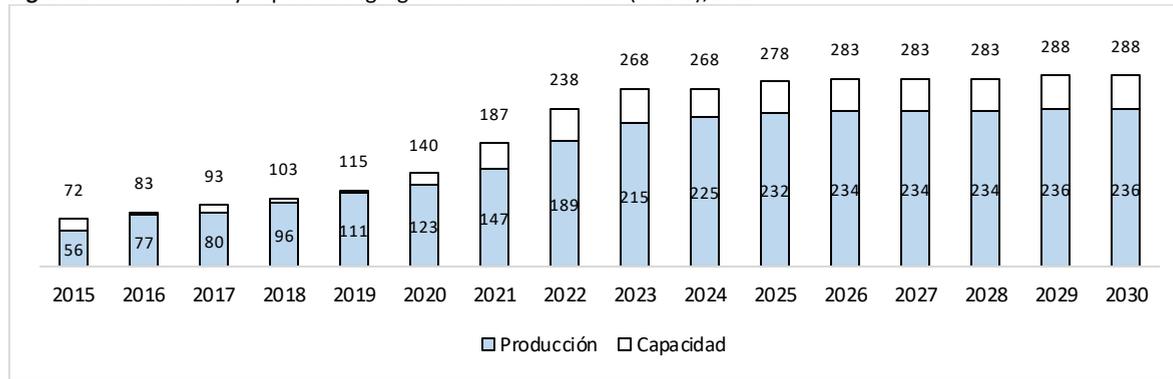
- Albemarle está ejecutando la ampliación de su planta de carbonato La Negra III/IV, con la cual espera incrementar su capacidad anual en 88 kt/a. Si bien en 2020 la empresa anunció demoras y suspensiones, en su segundo reporte trimestral de 2021 se acotó que la puesta en marcha de la planta estaba en proceso y que se preveía iniciar la producción a escala comercial en el primer semestre de 2022 (Albemarle, 2021). En su tercer reporte trimestral, se acotó que en octubre lograron la primera producción de carbonato de litio en la planta (Albemarle, 2021).

Igualmente, como ya se ha mencionado, es posible que en los próximos años se inicie la explotación en el Salar de Maricunga. Actualmente hay dos proyectos con RCA favorable, Producción Sales Maricunga de SIMCO y Proyecto Blanco de Minera Salar Blanco (MSB, propiedad de un consorcio entre Lithium Power International Ltd., con 51%, Minera Salar Blanco SpA, con 32%, y Bearing Lithium Corp. con 17%). En agosto de 2019, Codelco a través de su filial Salar de Maricunga SpA (que cuenta con un Contrato Especial de Operación de Litio –CEOL- para explotar litio) y Minera Salar Blanco, firmaron un acuerdo de entendimiento para estudiar la explotación conjunta. De alcanzar un acuerdo definitivo, se podrá desarrollar un proyecto que considera las pertenencias y el proyecto desarrollado por MSB, junto con los permisos de explotación y comercialización de Codelco (otorgados por el CEOL y la CChEN, respectivamente) así como sus pertenencias mineras (Codelco, 2019), sobre las cuales Codelco, por lo demás, recibió en 2020 la resolución ambiental favorable para comenzar la exploración, la cual espera comenzar en el primer trimestre de 2022.

Posteriormente, en mayo de 2021 MSB inició un acuerdo de entendimiento con Mitsui que, en sus puntos centrales, incluye el financiamiento conjunto del proyecto, la venta exclusiva de hasta 15 kt/a a Mitsui una vez que entre en operación y la colaboración conjunta para el desarrollo de nuevos proyectos en base a tecnologías de extracción directa (conocida como *Direct Lithium Extraction* o DLE, por sus siglas en inglés), actualmente en estudio (Globe Newswire, 2021). Cabe señalar que si bien la capacidad de producción original se cifró en 20 kt con un horizonte de vida de 20 años, posteriormente se indicó que como primera etapa se buscará llegar a una capacidad de 15 kt/a de carbonato de litio de grado batería, utilizando cerca del 50% de las pertenencias mineras de MSB. Se indicó, además, que el acuerdo de entendimiento con Codelco continúa vigente, considerando que dicha empresa cuenta con el CEOL que facultaría jurídicamente la explotación (IIMCh, 2021).

Con todo, la Figura 25 a continuación ilustra los aumentos de capacidad de producción estimada así como la producción real desde 2015 a 2020, y la proyección de producción nacional de Cochilco desde 2021 en adelante. Para esta, como se mencionó en la sección 6 del capítulo III, se considera la entrada operacional de Proyecto Blanco a partir de 2025. Si bien esto aún es un tema sujeto a una alta incertidumbre, su impacto sobre la capacidad agregada de producción 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 cerca de un 5% de la capacidad nacional proyectada con posterioridad a 2025.

Figura 25: Producción y capacidad agregada estimada de Chile (kt LCE), 2015-30*



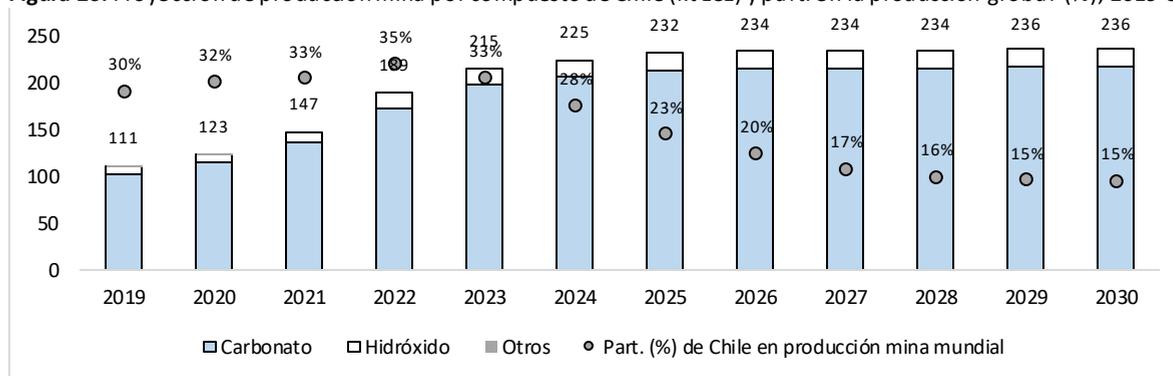
*Sin considerar entrada operacional de “Aumento de Capacidad y Optimización Planta Carmen” de SQM.
Fuente: Cochilco.

b. Importancia de la producción nacional en el mundo

Como se observa en la Figura 26, esperamos que la producción nacional continúe siendo altamente intensiva en carbonato de litio, representando alrededor del 92% de la producción total del país. De aprobarse el plan de expansión “Aumento de Capacidad y Optimización Planta Carmen” de SQM, podría haber una expansión importante hacia la producción de hidróxido. Sin embargo, este proyecto, al estar aún en una etapa temprana, no se ilustra en la figura.

Por otra parte, si bien a partir de los planes de expansión de SQM y Albemarle proyectamos que la participación nacional crezca desde un 30% en 2019 hasta un 35% en 2022, con posterioridad habrá un decrecimiento continuo, llegando a 15% hacia fines de década. Naturalmente, este decrecimiento en la participación se explica fundamentalmente por la expansión productiva de otros países en los últimos años (destacando en primer lugar Australia) y aumentos significativos en la oferta proyectada hacia el futuro. Por el lado de Chile, sin embargo, excluyendo las expansiones productivas de actores ya consolidados, SQM y Albemarle junto a la posibilidad de que se inicie el Proyecto Blanco por parte de MSB, no se vislumbran aumentos de producción¹¹.

Figura 26: Proyección de producción mina por compuesto de Chile (kt LCE) y part. en la producción global (%), 2019-30



*Sin considerar entrada operacional de “Aumento de Capacidad y Optimización Planta Carmen” de SQM.
Fuente: Cochilco.

¹¹ Si bien existen nuevos proyectos de salmueras e incluso de arcilla además de los ya mencionados, están en etapas de exploración temprana y no cuentan con los permisos para su explotación, razón por la cual proyectar su producción no resulta realista.

c. Importancia de la producción nacional para Chile

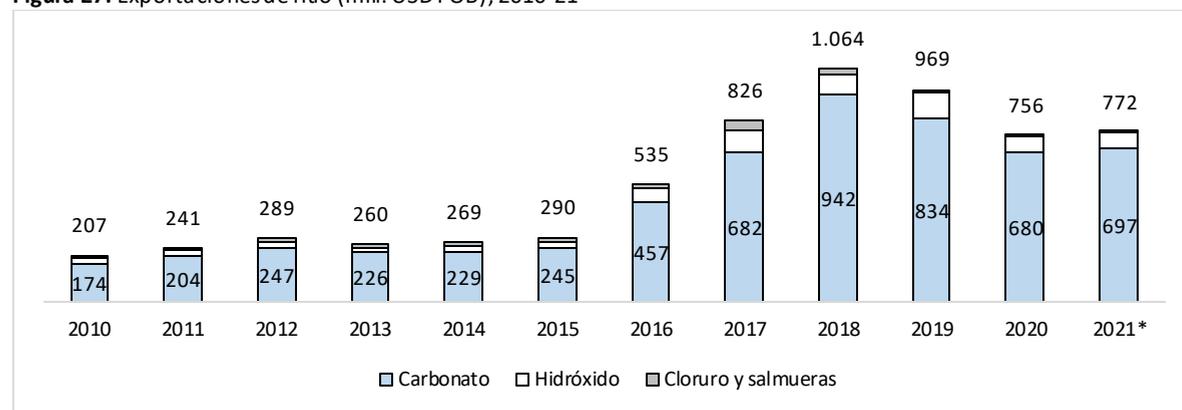
• **Exportaciones de litio**

La Figura 27 ilustra la evolución de las exportaciones de sustancias de litio entre 2010 y 2021 (considerando hasta octubre de este último año) obtenidas a partir de datos de comercio exterior de Chile. En línea con nuestra producción, no sorprende que el carbonato de litio sea el principal producto de litio exportable, registrando el 87% del total a lo largo del periodo y 10% a partir de 2020. Le sigue el hidróxido de litio con 10% en todo el periodo, y finalmente el cloruro y salmueras de litio¹² con el porcentaje 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 dos años siguientes al sub-periodo 2015-18, 2019 y 2020, se registró una caída conforme disminuyeron los precios transados y ya a lo largo de 2021 (considerando el año hasta octubre) se ha visto una progresiva recuperación al punto de que las exportaciones de los primeros 10 meses del año ya exceden a todo el 2020.

Figura 27: Exportaciones de litio (mill. USD FOB), 2010-21*



*Año hasta octubre.

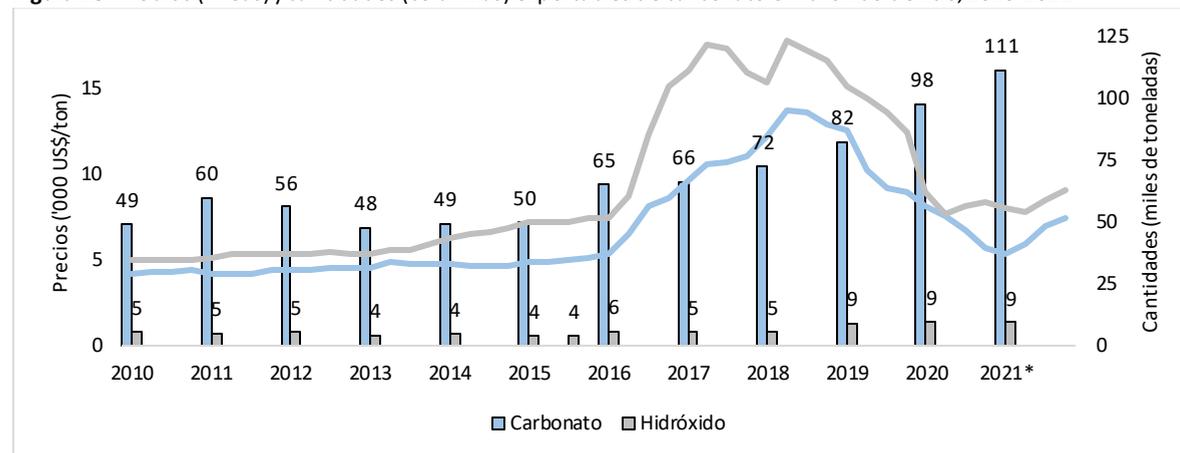
Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2021).

En esta línea, la Figura 28 ilustra la evolución de las cantidades exportables de carbonato e hidróxido de litio así como los precios estimados entre 2010 y 2021 (hasta octubre). Los precios se estimaron a partir del cociente entre las exportaciones medidas en dólares FOB y su medición correspondiente en toneladas usando las transacciones de comercio exterior disponibles en Thomson Reuters (2021). De esta manera, la Figura 28 encuentra su correlato con las exportaciones en dólares FOB expuestas

¹² Cabe señalar que desde 2018 las salmueras dejaron de registrar exportaciones. 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).

en la figura anterior. Esencialmente, se observa como los precios han sido el principal factor que explica los movimientos en las exportaciones totales. Como veremos en la sección 2 del capítulo IV más adelante, este incremento en los precios naturalmente se ha reportado a nivel mundial.

Figura 28: Precios (líneas) y cantidades (columnas) exportables de carbonato e hidróxido de litio, 2010-2021*



*Año hasta octubre.

Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2021).

- **Exportaciones de litio en relación a otros productos**

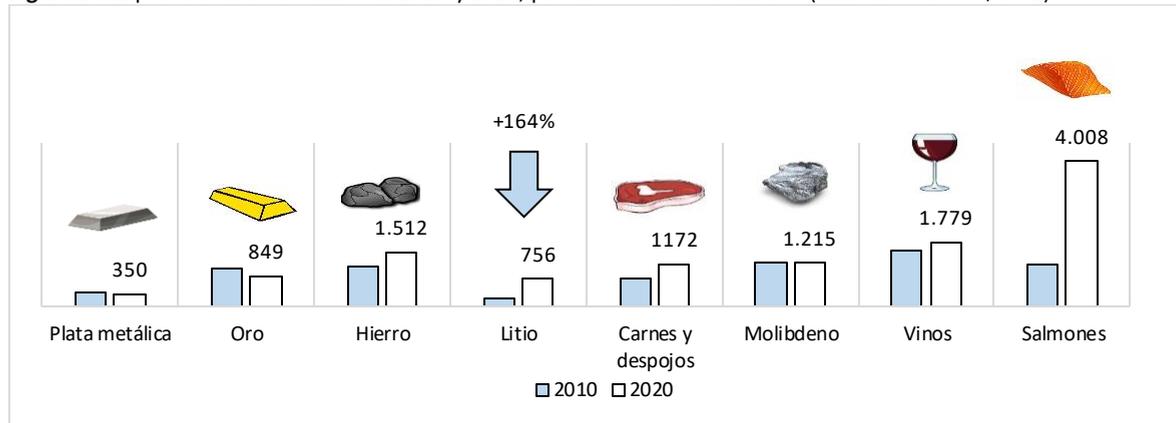
Por otra parte, podemos contextualizar la importancia del litio para Chile comparando su impacto en nuestro comercio exterior con los de otros productos exportables por nuestro país. En esta línea, en la Figura 29 se compara el valor de las exportaciones nacionales de litio con el de algunos bienes típicamente conocidos por su importancia a nivel de exportación -vinos, salmones, carnes y despojos- así como otros productos mineros -plata, oro, hierro y molibdeno¹³ entre 2010 y 2020.

A partir de esto vemos como durante la década las exportaciones de litio se han multiplicado por casi tres veces su valor¹⁴, lo que se explica –como vimos- por aumentos en los precios en el mercado mundial, expansiones productivas en las operaciones ya existentes, y, en menor medida, una mayor calidad de los productos exportados, lo que permite ventas a mejores precios.

Por otra parte, si bien el litio es una industria relevante para la economía nacional, llegando, por ejemplo, a representar alrededor de la mitad de las exportaciones de vinos o una quinta parte de las exportaciones del sector salmonero, aún se encuentra lejos del producto minero estelar de Chile, el cobre, cuyas exportaciones en 2020 ascendieron a USD FOB 37.992 millones (Banco Central de Chile, 2021). Es decir, durante 2020 las exportaciones nacionales de litio representaron menos del 2% de las exportaciones de cobre.

¹³ Intencionalmente dejamos fuera al cobre dado que por sí solo concentra cerca de la mitad de las exportaciones nacionales y por ende dificulta la escala de comparación. No obstante, a modo referencial, durante 2019 las exportaciones de cobre fueron unas 35 veces más que las de litio.

¹⁴ Cabe acotar que esta proporción se aproxima a 4 veces si consideráramos el año 2019, de mayores precios promedio.

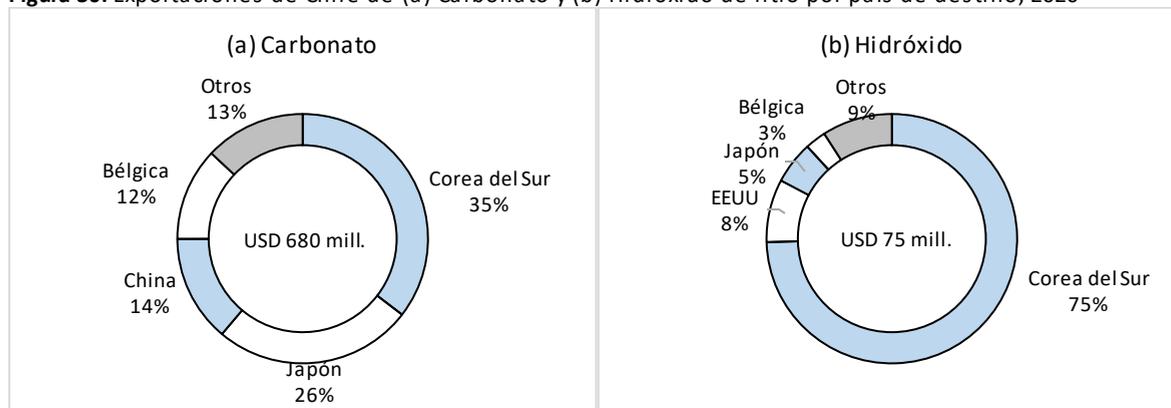
Figura 29: Exportaciones de Chile en 2010 y 2020, productos seleccionados (millones de US\$ FOB)

Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2021) y Banco Central de Chile (2021).

- **Exportaciones de litio por país de destino**

La Figura 30 más abajo muestra los principales países de destino de las exportaciones de carbonato e hidróxido de litio durante 2020. En ambos productos vemos que las exportaciones se dirigen preponderantemente a Asia. Específicamente, en el caso del carbonato, se dirigieron en un 35% a Corea del Sur, 26% a Japón y 14% a China. Para el caso del hidróxido, Corea del Sur fue el principal país de destino en una proporción aun mayor, concentrando tres cuartas partes del total de las exportaciones. Le siguió EE.UU., con 8%, Japón, con 5%, y Bélgica, con 3%.

En suma, Corea del Sur, Japón y China son los principales importadores de los productos chilenos de litio, en conjunto representando cerca del 80% del total. 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 compradores¹⁵.

Figura 30: Exportaciones de Chile de (a) Carbonato y (b) Hidróxido de litio por país de destino, 2020

Fuente: Cochilco en base a Thomson Reuters (2021).

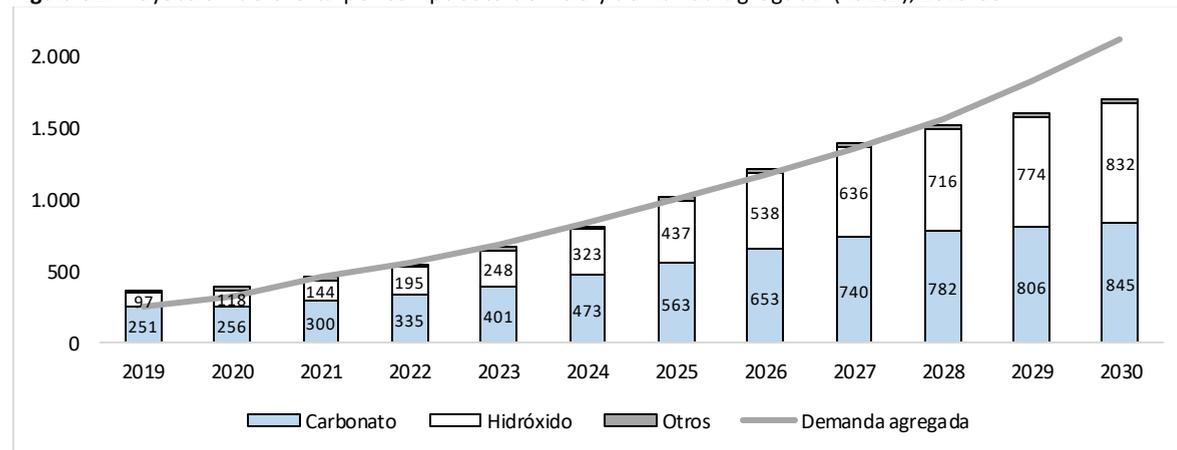
¹⁵ Si bien no es parte de la discusión de este informe, cabe señalar que este punto se ha esgrimido como un motivo para desistir de la construcción de una cadena de valor agregado a partir de dar incentivos para el establecimiento de fabricantes de baterías o sus componentes, como ha buscado Corfo a partir del establecimiento de precios preferentes para productores especializados en sus contratos con Albemarle en 2016 y SQM en 2018.

IV. Balance y precios

1. Balance 2019-2030

En la Figura 31 se ilustra la proyección de oferta por compuesto de litio y la demanda agregada. Se observa como el mercado ha avanzado desde una situación de superávit en 2019 hasta una progresiva estrechez a partir de 2020, produciendo leves déficits a partir de 2021. Si bien es esperable que estos se mantengan relativamente estables hasta 2027, el balance de mercado continuará en una situación de relativa constricción, lo que significará que cualquier disrupción en la oferta de las operaciones existentes o retrasos en la puesta en marcha tanto de los proyectos nuevos como de las expansiones proyectadas (que en efecto constituyen el grueso de la oferta futura proyectada con el 49% y el 10% del total respectivamente), causen déficits temporales. Más aún, ya a partir de 2027, estimamos que la oferta no alcanzará a suplir la demanda, creando un déficit creciente.

Figura 31: Proyección de oferta por compuesto de litio y demanda agregada (kt LCE), 2019-30

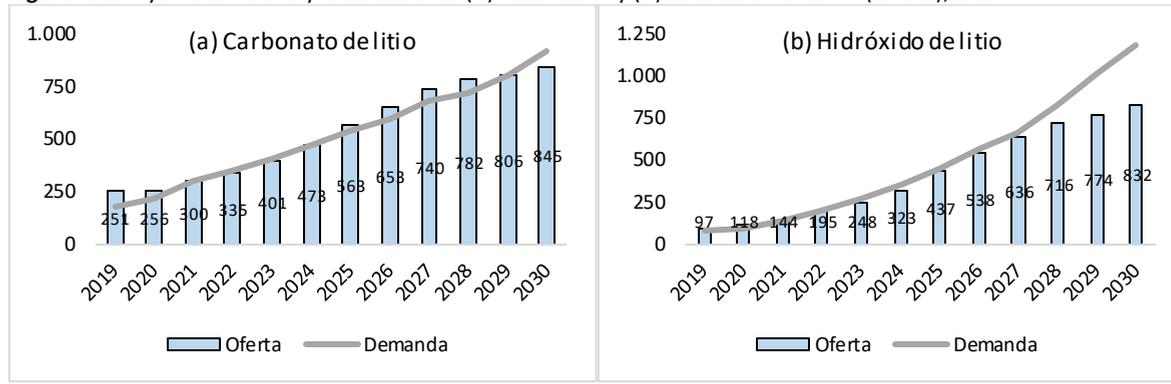


Fuente: Cochilco.

Separando las categorías de carbonato e hidróxido de litio, vemos de la Figura 32 y de la Figura 33, que el déficit proyectado tiende a ser superior para el hidróxido, material que se espera enfrente una leve pero persistente situación de escasez entre 2021 y 2027, para luego hacerse significativamente mayor a partir de 2028, llegando a cerca de 350 kt hacia fines de la década. Esto es equivalente a prácticamente toda la producción de litio de 2020 y más del triple de la producción de hidróxido.

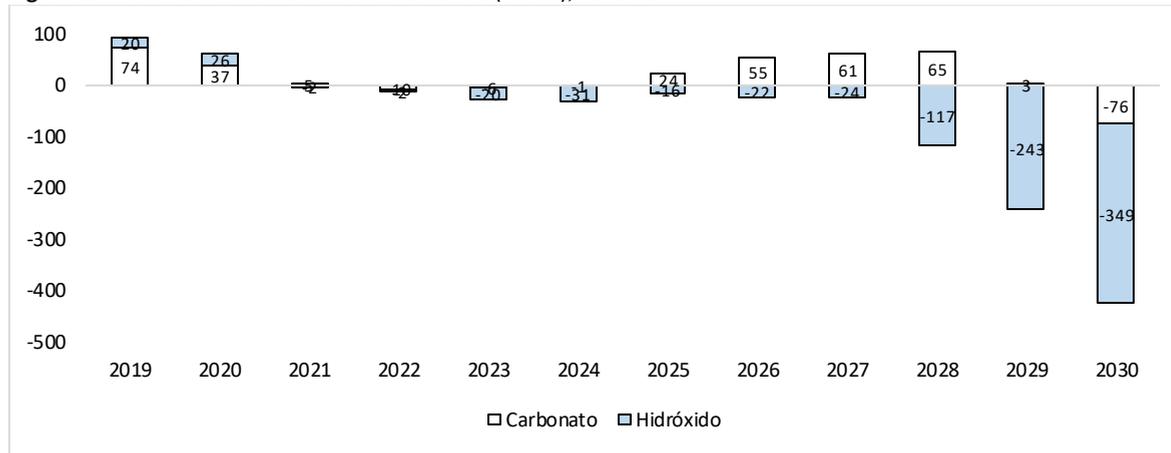
Naturalmente, esto implica una mayor presión sobre la producción a partir de mineral de roca y posiblemente también una mayor conversión de carbonato de litio a hidróxido, situación que potencialmente induciría a mayores precios en ambos productos, lo que a su vez acentuaría los incentivos para materializar los planes de expansiones y proyectos nuevos. En este contexto, la velocidad con que la oferta sea capaz de responder a los aumentos esperados en la demanda es al día de hoy una de las preocupaciones más alarmantes del mercado.

Figura 32: Proyección oferta y demanda de (a) carbonato y (b) hidróxido de litio (kt LCE), 2019-30



Oferta Demanda
Fuente: Cochilco.

Figura 33: Balance carbonato e hidróxido de litio (kt LCE), 2019-30

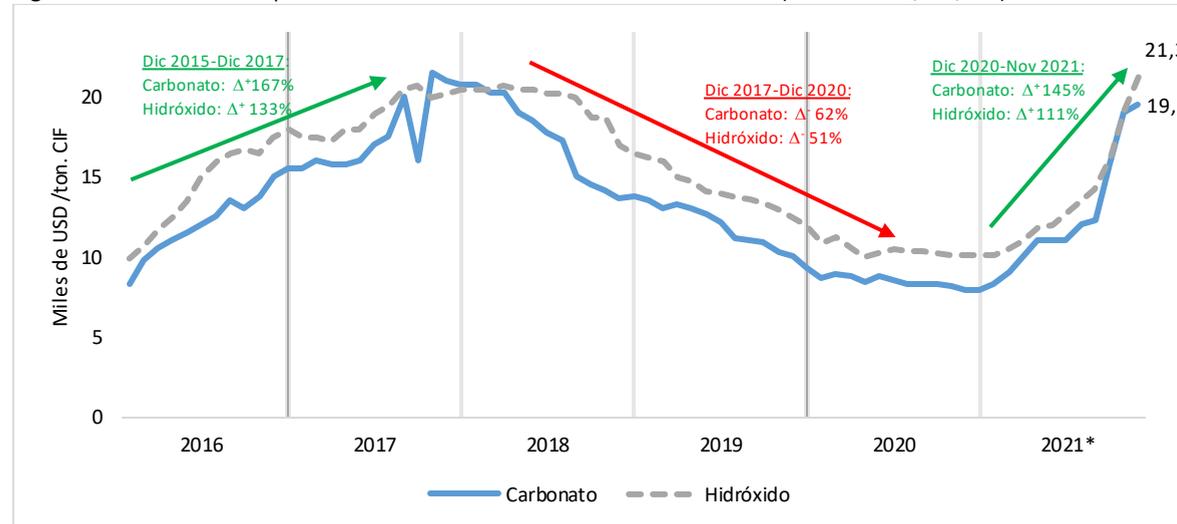


Carbonato Hidróxido
Fuente: Cochilco.

2. Evolución del precio de los compuestos de litio, 2016-21

La Figura 34 ilustra la evolución que han tenido las cotizaciones promedio mensual entre enero de 2016 y octubre de 2021 del carbonato y del hidróxido de litio según datos de las transacciones en Asia computadas por S&P Global Market Intelligence (2021). A grandes rasgos se pueden distinguir tres periodos tendenciales: una sostenida ola de crecimiento durante 2016-17, una progresiva caída durante 2018-20, y la recuperación, o segunda ola de crecimiento, desde diciembre de 2020 hasta, al menos, los primeros 10 meses de 2021. Describiremos las causas de los movimientos de estos periodos a continuación.

Figura 34: Precio nominal promedio del carbonato e hidróxido de litio en Asia (miles de US\$/ton, CIF)



*Año hasta noviembre.

Fuente: Cochilco en base a S&P Global Market Intelligence (2021).

a. Crecimiento, 2016-17

A partir de 2015, se hizo progresivamente patente en el mercado que los autos 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 (2021), entre diciembre de 2015 y diciembre de 2017, las cotizaciones promedio estimadas del carbonato y del hidróxido crecieron un 167% y 97% respectivamente.

Ahora bien, cabe subrayar que este crecimiento tuvo un fuerte componente especulativo respecto de la demanda potencial y el crecimiento de la misma. Si bien efectivamente se creía que la electromovilidad iba a ser la fuerza dominante, en general las expectativas de la velocidad de su crecimiento en muchos casos resultaron mayores a lo visto en realidad.

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 varios 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 masivo 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 en general. Como resultado, los precios de los compuestos de litio siguieron transando a baja durante los primeros meses del año.

c. Recuperación, 2021

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. Sin embargo, a diferencia de este *boom* anterior, el crecimiento actual no está cimentado principalmente en expectativas, sino que en un aumento palpable de la demanda ante una oferta prevista como insuficiente. Como vimos, el mayor consumo ha respondido directamente a las ventas de vehículos eléctricos, las cuales se incrementaron aún durante la pandemia, y se proyecta que sigan creciendo año a año al menos durante la siguiente década.

Ante este rápido crecimiento en la demanda, la oferta existente se ha percibido como limitada e insuficiente, fomentando la tendencia alcista en los precios. En efecto, como vimos en la Figura 33, el balance proyectado de mercado tanto del carbonato como del hidróxido de litio se encuentra particularmente ajustado, lo que ejerce una presión significativa sobre la velocidad con que la oferta puede llegar a satisfacer la demanda requerida.

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 y 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, entanto efectivamente refleja la demanda exigida sobre la oferta disponible en el mercado en un momento dado del tiempo.

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 más común se transa como cátodo grado A al 99,9% de pureza, el litio se considera como un químico de especialidad, cuyos productos varían en sus especificaciones y purezas, razón por la cual se hace complejo lograr un precio estándar. Si bien esto efectivamente dificulta la asignación de un precio de mercado, en la práctica vemos que los movimientos en los precios de los distintos compuestos de litio 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 finalmente 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 de metales han hecho esfuerzos por diseñar este tipo de contratos. A lo largo de 2021 se cuentan varios hitos significativos:

- 3 de mayo: El Grupo 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: El Grupo 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 el desarrollo de la electromovilidad, es previsible que las bolsas de comercio y la industria continúe 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.

V. Anexo: Reservas de litio en Chile

Chile tiene alrededor de 60 reservorios acuíferos, de los cuales al menos 23 cuentan con recursos medidos y/o potenciales de litio (Cabello, 2021). Sin embargo, solo los salares de Atacama y Maricunga tienen estimaciones aceptables de reservas. Sobre este punto, aun cuando la estimación y medición de reservas suele ser un tema complejo sobre el cual incide el método de evaluación así como la extensión y profundidad del área efectivamente explorada, es posible realizar algunas estimaciones preliminares a partir de fuentes públicas.

Para esto, ocuparemos las reservas indicadas por SQM en su Memoria Anual 2020 (SQM, 2021), cifradas en 9,1 millones de ton. de litio metálico en su área de explotación arrendada a Corfo en el Salar de Atacama. De estas, 3,1 millones se clasifican como probables y 6,0 millones como probadas. Para Albemarle por su parte, se puede emplear la estimación de reservas en torno a 1,29 millones de ton. (Corfo, 2016; Osses, 2018), la cual, si bien está desactualizada, sirve como punto de referencia. También dentro del núcleo del salar se deben considerar las áreas de seguridad de Corfo, con 2,17 millones de ton. (Osses, 2018). No obstante, dada su consideración, estas no son siempre interpretadas como reservas. En efecto, Cabello (2021) las identifica como recursos. Por último, para el Proyecto Blanco de Minera Salar Blanco (MSB) en el Salar de Maricunga, ocuparemos las reservas estimadas en su Estudio de Factibilidad Definitivo (WorleyParsons, 2019).

La Tabla 7 resume estos valores, encontrándose reservas totales por 12,7 millones de ton. De estas, el 99% están en el Salar de Atacama. Ahora bien, en caso de no considerar las reservas en las áreas de seguridad, se llega a 10,5 millones de ton¹⁶.

Con todo, en los procesos de evaporación y tratamiento metalúrgico suelen haber pérdidas de recuperación, razón por la cual se hace pertinente realizar un ajuste por eficiencia. En su Memoria Anual 2020, SQM ocupa un ajuste de entre 34% y 60%, mientras que en el Estudio de Factibilidad Definitivo de MSB se asume un ajuste fijo del 58%. Suponiendo el mismo rango de recuperación para Albemarle y las potenciales reservas en las áreas de seguridad de Corfo, se obtienen reservas recuperables de entre 4,4 y 7,6 millones de ton.

Tabla 7: Reservas de litio en Chile (t. Li)

Empresa	Ubicación	Área (km ²)	Probables	Probadas	Totales	%	Ajuste por recuperación*	
MSB	Salar de Maricunga	25	101.000	39.000	139.000	1	80.620	
SQM	Salar de Atacama (núcleo)	819	3.100.000	6.000.000	9.100.000	72	3.094.000	5.460.000
Albemarle	Salar de Atacama (núcleo)	167	ND	ND	1.290.000	10	438.600	774.000
Corfo (áreas de seguridad)	Salar de Atacama (núcleo)	652	ND	ND	2.170.000	17	737.800	1.302.000
Total	-	1,663	-	-	12.699.000	100	4.351.020	7.616.620

*Ocupando un 58% para MSB (Estudio de Factibilidad Definitivo), y entre 34% y 60% para SQM (Memoria Anual 2020) y otros. Fuente: Cochilco en base a SQM (2021), Corfo (2016) para Albemarle, Osses (2018) para Corfo y WorleyParsons (2019) para MSB.

¹⁶ Como referencia comparativa, USGS (2021) estimó reservas por 9,2 millones para el país. Esto considerando únicamente las reservas de SQM y Minera Salar Blanco.

VI. 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. (2021). *Second Quarter Report*. Charlotte, NC. doi:<https://investors.albemarle.com/static-files/4be18b45-4e8d-42cb-a8ad-8b377d786c28>
- Albemarle. (2021). *Third Quarter Results*. Charlotte, NC. Obtenido de <https://investors.albemarle.com/static-files/78c54778-d6b0-4de5-aed7-aa14101f241e>
- Althaus, H.-J., Notter, D. A., & Gauch, M. (Enero de 2009). Life cycle assessment of a Lithium-ion battery for applications in electric vehicles.
- 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>
- Argus Media. (10 de Febrero de 2021). *China's Shanghai continues to offer free EV licences*. Obtenido de <https://www.argusmedia.com/en/news/2185607-chinas-shanghai-continues-to-offer-free-ev-licences>
- Banco Central de Chile. (2021). *Indicadores de Comercio Exterior - Segundo trimestre 2021*. Santiago de Chile.
- Bearing Lithium. (2021). *Maricunga Project - Investor Presentation*. Obtenido de <https://www.bearinglithium.com/wp-content/uploads/2021/10/NOV-21-Presentation.pdf>
- 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. (19 de Mayo de 2020). *Electric Vehicle Sales to Fall 18% in 2020 but Long-term Prospects Remain Undimmed*. Obtenido de Bloomberg New Energy Finance: <https://about.bnef.com/blog/electric-vehicle-sales-to-fall-18-in-2020-but-long-term-prospects-remain-undimmed/>
- 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. (7 de Octubre de 2021). *U.S. Narrows Gap With China In Race To Dominate Battery Value Chain*. Obtenido de <https://about.bnef.com/blog/u-s-narrows-gap-with-china-in-race-to-dominate-battery-value-chain/>
- BMI. (2020). Benchmark Mineral Intelligence. *Lithium Forecast Q1*.
- BMI. (2021). Benchmark Mineral Intelligence. *Lithium Forecast Q3*.
- 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>
- Bradley, D., Munk, L., Jochens, H., Hynek, S., & Labay, K. (2013). *A Preliminary Deposit Model for Lithium Brines*. Reston, Virginia: USGS. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/of/2013/1006/OF13-1006.pdf>
- Cabello, J. (2021). Lithium brine production, reserves, resources and exploration in Chile: An updated review. *Ore Geology Reviews*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103883>
- Cochilco. (2020). *Oferta y Demanda de Litio hacia el 2030*. Santiago de Chile.
- Codelco. (1 de Agosto de 2019). *Codelco y Minera Salar Blanco suscriben acuerdo para estudiar el desarrollo conjunto de proyecto de litio en Maricunga*. Obtenido de https://www.codelco.com/codelco-y-minera-salar-blanco-suscriben-acuerdo-para-estudiar-el-prontus_codelco/2019-08-01/085134.html

- Comisión Europea. (2020). *Critical raw materials*. Obtenido de https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en
- 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)
- Corfo. (2016). *Presentación Comisión Investigadora Litio*. Obtenido de <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmlD=63026&prmtIPO=DOCUMENTOCOMISION>
- 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>
- Econo Journal. (21 de Septiembre de 2021). Obtenido de El gobierno evalúa bajar retenciones a la minería para incentivar nuevas inversiones en el sector: <https://econojournal.com.ar/2021/09/el-gobierno-evalua-bajar-retenciones-a-la-mineria-para-incentivar-nuevas-inversiones-en-el-sector/>
- EV Volumes. (2021). Obtenido de <https://www.ev-volumes.com/>
- Globe Newswire. (10 de Mayo de 2021). Obtenido de Minera Salar Blanco, Agrees Strategic Alliance with Mitsui for the Development of Maricunga and Future Developments in Chile: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2021/05/11/2226778/0/en/Minera-Salar-Blanco-Agrees-Strategic-Alliance-with-Mitsui-for-the-Development-of-Maricunga-and-Future-Developments-in-Chile.html>
- 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
- 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. (28 de Abril de 2021). *International Energy Agency*. Obtenido de Global EV sales by scenario, 2020-2030: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-ev-sales-by-scenario-2020-2030>
- IIMCh. (11 de Mayo de 2021). *Instituto de Ingenieros en Minas de Chile*. Obtenido de Mitsui entra al negocio del litio en Chile tras acuerdo con Minera Salar Blanco: <https://www.iimch.cl/index.php/noticias2/actualidad/2669-mitsui-entra-al-negocio-del-litio-en-chile-tras-acuerdo-con-minera-salar-blanco>
- 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

- Mining Journal. (2021). *Ablemarle to double Silver Peak lithium production*. Obtenido de <https://www.mining-journal.com/energy-minerals-news/news/1402126/ablemarle-to-double-silver-peak-lithium-production>
- Mining.com. (7 de Agosto de 2020). *Albemarle to shutter two lithium facilities in the US*. Obtenido de <https://www.mining.com/albemarle-to-shutter-two-lithium-facilities-in-the-us/>
- 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>
- Osses, L. (2018). El futuro del litio hacia el 2025. *Minerales, Revista Instituto de Ingenieros en Minas de Chile*, 289, 12-19.
- Pilbara Minerals. (2017). *Pilgangoora – The world's Leading Lithium Development Project*. Obtenido de http://www.pilbaraminerals.com.au/site/PDF/1983_0/CorporatePresentationSeptember2017
- 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>
- Reidel, F. (2021). *Lithium Resources Update Minera Salar Blanco*. Atacama Water Consultants. Obtenido de https://lithiumpowerinternational.com/wp-content/uploads/2021/09/NI-43-101-Resource-Update-Stage-One_Final.pdf
- Reuters. (14 de Julio de 2021). *EU proposes effective ban for new fossil-fuel cars from 2035*. Obtenido de <https://www.reuters.com/business/retail-consumer/eu-proposes-effective-ban-new-fossil-fuel-car-sales-2035-2021-07-14/>
- 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. (2021). *EV & Battery Quarterly Outlook*. Obtenido de <https://rhomotion.com/>
- Roskill. (2020). *Lithium Outlook to 2030*. Londres.
- S&P Global Market Intelligence. (2021). <https://www.spglobal.com>. Obtenido de <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/>
- Sernageomin. (2021). *Anuario de la Minería en Chile 2020*. Santiago de Chile. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/anuario-de-la-mineria-de-chile/>
- Sinovoltaics. (2021). *sinovoltaics.com*. Obtenido de <https://sinovoltaics.com/learning-center/storage/lmo-batteries/>
- SQM. (2021). *Memoria Anual 2020*. Obtenido de [https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_financials/2020/ar/Memoria-Anual-2020_esp_final-\(1\).pdf](https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_financials/2020/ar/Memoria-Anual-2020_esp_final-(1).pdf)
- SQM. (2021). *SQM informa resultados de los primeros tres meses*. Santiago de Chile. Obtenido de https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_financials/2021/q1/Estados_financieros_1Q2021_esp.pdf
- 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
- Sumitomo Metal Mining. (2021). *smm.co.jp*. Obtenido de https://www.smm.co.jp/en/business/material/products/nickel_lite/
- Thomson Reuters. (2021). *Estadísticas COMEX*. Obtenido de www.checkpoint.cl
- USGS. (2011). Lithium. *United States Geological Service*. Obtenido de <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/lithium/mcs-2011-lihi.pdf>
- USGS. (2016). Lithium. *United States Geological Service*. Obtenido de <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/lithium/mcs-2016-lihi.pdf>
- USGS. (Mayo de 18 de 2018). *Interior releases 2018's Final List of Critical Minerals*. Obtenido de <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/interior-releases-2018s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us>
- USGS. (2021). *Lithium Statistics and Information*. Obtenido de United States Geological Service: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-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>
- Wood Mackenzie. (8 de Abril de 2020). *Global electric vehicle sales to drop 43% in 2020*. Obtenido de <https://www.woodmac.com/press-releases/global-electric-vehicle-sales-to-drop-43-in-2020/>
- WorleyParsons. (2019). *Definitive Feasibility Report of MSB Lithium Carbonate Project*. Obtenido de <https://lithiumpowerinternational.com/wp-content/uploads/2019/01/Definitive-Feasibility-Study-of-MSB-Blanco-Lithium-Carbonate-Project.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

Jorge Cantallopts Araya

Director de Estudios y Políticas Públicas

Diciembre / 2021