



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIA Y NEGOCIOS

**ANÁLISIS ESTRATÉGICO Y PROYECCIONES DE LA INDUSTRIA DEL LITIO
EN CHILE**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil Industrial

Profesor Guía: Dr. Hernán Pape Larre

Javiera Ignacia Araya Jorquera

Copiapó, Chile 2022

Dedicatoria

En primer lugar, dedico este trabajo a mis padres, Sheryl e Iván, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Como también a mis abuelos, Teresa y Jorge, por ser las personas que desde un principio me han brindado su apoyo y amor incondicional. A su vez, quisiera dedicar este trabajo a mi abuela Ruth, quien siempre me ha guiado en mi vida personal y académica. Son mis principales motivadores y los formadores de lo que ahora soy como persona. Esta tesis es el resultado de lo que me han enseñado en la vida, todo se obtienen con dedicación, entrega, esfuerzo y mucho trabajo.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: Introducción	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo General.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II: Marco teórico	4
2.1 Historia.....	4
2.2 Características técnicas.....	5
2.3 Fuentes de Litio.....	6
2.3.1 Pegmatitas.....	7
2.3.2 Salmueras.....	8
2.3.3 Rocas Sedimentarias.....	9
2.4 Recursos y Reservas.....	9
2.5 Productos de Litio.....	13
2.6 Usos y aplicaciones del Litio.....	15
2.7 Participación de mercado.....	17
2.7.1 Por país.....	17
2.7.2 Por empresa.....	17
2.8 Consumo de Litio.....	18
2.8.1 Por compuesto químico.....	18
2.8.2 Por uso final y jurisdicción.....	20
2.9 Costos de producción.....	21
2.10 Flujo internacional del Litio.....	22
2.11 Precio del Litio.....	23
2.11.1 Crecimiento, 2016-2017.....	24
2.11.2 Caída, 2018-2020.....	24
2.11.3 Recuperación, 2021.....	25
2.12 Litio en Chile.....	26
2.12.1 Historia.....	26
2.12.2 Depósitos de Litio en Chile.....	27
2.12.3 Proyectos relacionados al Litio.....	30
CAPÍTULO III: Metodología de la investigación	34

CAPÍTULO IV: Desarrollo	36
4.1 Análisis estratégico.....	36
4.1.1 Análisis Externo.....	36
4.1.1.1 Análisis PESTEL	36
4.1.1.2 Modelo de las cinco Fuerzas de Porter	48
4.1.2 Análisis Interno.....	52
4.1.3 Análisis FODA	54
4.2 Análisis de la oferta nacional	58
4.2.1 SQM.....	59
4.2.2 Albemarle	63
4.3 Análisis y proyección de la demanda de Litio	66
CAPÍTULO V: Conclusiones	73
Bibliografía.....	75
Anexos	77
Anexo 1.-Matriz de cruzamiento.....	77
Tabla N° 1.1 Matriz de cruzamiento FA.....	77
Tabla N° 1.2 Matriz de cruzamiento DA.....	78
Tabla N° 1.3 Matriz de cruzamiento FO.....	79
Tabla N° 1.4 Matriz de cruzamiento DA.....	80
Anexo 2.- Análisis estadísticos de la regresión lineal múltiple	81
Tabla N° 2.1 Estadísticas regresión lineal múltiple.....	81
Anexo 3.- Entrevistas	82
Anexo 4.- Comentarios de expertos	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Distribución, a nivel mundial, de las principales fuentes de Litio	9
Figura N° 2.2 Fuentes de Litio.....	14
Figura N° 2.3 Cadena de producción primaria y secundaria del Litio	15
Figura N° 2.4 Los productos de Litio y sus principales aplicaciones asociadas	16
Figura N° 2.5 Rango normal estimado de costos operacionales (USD/t), 2021	22
Figura N° 2.6 Distribución de los distintos salares localizados en Chile	28
Figura N° 2.7 Distribución geográfica de las empresas SQM y Albemarle	29
Figura N° 4.1 Cadena de valor del Litio en Chile.....	53
Figura N° 4.2 Proceso productivo del Carbonato e Hidróxido de Litio de SQM.....	63
Figura N° 4.3 Proceso productivo, en relación al Litio, por parte de Albemarle	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Descripción específica de las propiedades químicas del Litio	5
Tabla N° 2.2 Descripción de las tres principales fuentes de exploración del Litio	7
Tabla N° 2.3 Principales proyectos de exploración de Litio en Chile	33
Tabla N° 4.1 Licitaciones adjudicadas al año 2022	38
Tabla N° 4.2 Royalty, de SQM y Albemarle, por la producción de Litio	39
Tabla N° 4.3 Fortalezas y debilidades de la industria del Litio en Chile	54
Tabla N° 4.4 Oportunidades y amenazas de la industria del Litio en Chile	55
Tabla N° 4.5 Desglose porcentual de los ingresos para los años 2019,2020 y 2021, de acuerdo con las líneas de productos de SQM	60
Tabla N° 4.6 Valores totales e ingresos, de SQM, relacionados al Litio y derivados	60
Tabla N° 4.7 Volúmenes de ventas e ingresos por Litio y derivados, relacionados con los primeros nueve meses del año respectivo	61
Tabla N° 4.8 Volúmenes de ventas e ingresos por Litio y derivados, relacionados con el tercer trimestre del 2022 (julio. agosto y septiembre)	62
Tabla N° 4.9 Composición de los ingresos por ventas de Albemarle	64
Tabla N° 4.10 Exportaciones de Chile y el PIB de los principales países consumidores del Litio chileno	68
Tabla N° 4.11 Proyecciones del PIB de los principales países consumidores del Litio chileno	71
Tabla N° 4.12 Proyecciones de las exportaciones de Carbonato de Litio en Chile al 2027	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 2.1 Países con mayores reservas de Litio a nivel mundial.....	10
Gráfico N° 2.2 Países con mayores recursos de Litio a nivel mundial	13
Gráfico N° 2.3 Producción de Litio por país	17
Gráfico N° 2.4 Producción de Litio por (a) empresa operadora y (b) controladora	18
Gráfico N° 2.5 Demanda de Litio por (a) tipo y (b) grado de carbonato e hidróxido de Litio.....	19
Gráfico N° 2.6 Consumo de Litio (a) por uso final y (b) según jurisdicción	20
Gráfico N° 2.7 Precio nominal promedio del carbonato e hidróxido de Litio en Asia (miles de US\$/ton, CIF)	24
Gráfico N° 4.1 Evolución del IMACEC.....	40
Gráfico N° 4.2 Evolución del tipo de cambio.....	41
Gráfico N° 4.3 Producción nacional de LCE (Carbonato de Litio Equivalente)	58
Gráfico N° 4.4 Modelo de Regresión lineal simple para el PIB de China	69
Gráfico N° 4.5 Modelo de Regresión lineal simple para el PIB de Corea del Sur	69
Gráfico N° 4.6 Modelo de Regresión lineal simple para el PIB de Japón	70
Gráfico N° 4.7 Exportaciones de LCE (Carbonato de Litio Equivalente), adjudicada a Chile al 2027	72

Resumen

En los últimos, Chile, ha visto reducida su participación en la industria litífera a causa de la incapacidad de incrementar su capacidad productiva, debido a varios factores. Uno de ellos, y el principal de todos, corresponde a las barreras legales que este mineral presenta por su categoría de estratégico. Pese a esto, las dos únicas productoras se han visto favorecidas en términos de ventas por consecuencia de las abruptas alzas en los precios de su principal producto exportador: el Carbonato de Litio. Este último, es entregado a los clientes en forma de materia prima, sin valor agregado alguno, pero con costos de producción muy favorables para la empresa exportadora. Dicho lo anterior, se considera relevante en el presente documento, debido a que es una de las principales fortalezas que presenta la industria nacional, a consecuencia de los favorables escenarios climáticos presentes en el Salar de Atacama. Si embargo, a la vez, esto implica una debilidad fundamental presente en el proceso productivo, correspondiente al lento proceso de obtención, causado por la falta de tecnología aplicadas en la cadena del valor.

Mediante el presente trabajo, por medio de un análisis estratégico, se identificaron todas las oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades presente en la actual industria litífera de Chile, planteando estrategias como la diversificación de productos, liderazgo en costos, alianzas estratégicas y desarrollo de tecnologías, para ayudar a la industria posicionarse de mejor manera en el mercado, y afrontar de mejor manera el alza de la demanda de este mineral a futuro. Por otra parte, mediante el análisis de las empresas oferentes, se pudo evidenciar la importancia que tiene el Litio, dentro de sus líneas de productos, generándole a las empresas millonarias ganancias, considerando que ambas organizaciones cuentan con el mismo sistema productivo en la misma locación. Por último, mediante datos históricos, se estimaron las futuras exportaciones del país nacional, visualizándose grandes niveles de exportación de Carbonato de Litio dentro los próximos 6 años.

Abstract

In recent years, Chile has seen its participation in the litigation industry reduced due to the inability to increase its productive capacity, due to several factors. One of them, and the main one of all, corresponds to the legal barriers that this mineral presents for its strategic category. Despite this, the two, and only, producers are being favored in terms of sales as a result of the abrupt increases in the prices of their main export product, Lithium Carbonate. The latter is delivered to customers in the form of raw material, without any added value, but with very favorable production costs for the exporting company. This last point is considered relevant in this document, because it is one of the main strengths presented by the national industry, as a result of the favorable climatic scenarios present in the Salar de Atacama. However, at the same time, this implies a fundamental weakness present in the production process, corresponding to the slow process of obtaining, caused by the lack of technology applied in the value chain.

Through this work, through a strategic analysis, all the opportunities, threats, strengths and weaknesses present in the current litigation industry of Chile were identified, proposing strategies such as product diversification, cost leadership, strategic alliances and development of technologies, to help the industry position itself better in the market, and better face the rise in demand for this mineral in the future. On the other hand, through the analysis of the bidding companies, it was possible to demonstrate the importance of Lithium within their product lines, generating millionaire profits for companies, considering that both organizations have the same production system in the same location. Finally, through historical data, the future exports of the national country were estimated, visualizing large levels of export of Lithium Carbonate within the next 6 years.

CAPÍTULO I: Introducción

El Litio, es un metal alcalino que posee un papel preponderante en un sinnúmero de aplicaciones en diversas industrias, debido a las propiedades que presentan según su composición. El cambio climático y las condiciones de los recursos no renovables han dado paso, a que esta materia prima, tome relevancia como una nueva fuente de energía, ya sea en términos de generación y almacenamiento, a través de su uso en baterías eléctricas que permiten acumular grandes volúmenes de energía. Esto, es importante no sólo para la industria electrónica y electromotriz, sino también para el uso continuo de las energías renovables no convencionales, tales como eólica, solar y geotérmica. A esto, se le suma su contribución en la eficiencia energética, con el empleo de aleaciones aluminio-litio en aviones, barcos y vehículos, las cuales permiten obtener materiales estructurales, livianos y resistentes, cuyo uso en la industria aeronáutica y de transporte terrestre conduce a un ahorro considerable de energía. Otro aspecto importante de considerar de este elemento, es que, a partir de él, se puede producir el tritio, que se proyecta como el combustible de la futura fusión nuclear. Otro tipo de aplicación, y en el que presenta un alto impacto, es en el sector tecnológico mediante el desarrollo de las baterías de ion litio, lo cual ha significado que este metal se convierta en un insumo primordial de la vida moderna. Cada uno de los miles de millones de celulares, computadores, herramientas eléctricas, entre otros, necesitan para su funcionamiento aquella materia prima.

Por lo mencionado anteriormente, el precio del litio ha experimentado una fuerte alza en los últimos años y se espera que esta tendencia continúe, debido a la alta demanda de automóviles y vehículos eléctricos, que demanda un mayor consumo de este metal para los distintos procesos de elaboración.

Por otra parte, es de conocimiento mundial que más del 50% de los recursos mundiales de litio se encuentran dentro del denominado “triángulo de litio”, conformado por Argentina, Chile y Bolivia. Siendo, la región Atacama, de suma importancia para el mercado asociado a esta materia prima. En este contexto de expansión por la demanda del litio, se encuentra el Salar de Atacama, una de las mayores reservas de litio a nivel mundial en salmueras, ubicada

en suelo nacional. Respecto a ello, solo dos compañías que se dedican a la explotación y producción de litio: SQM y Albemarle, ambas representando el mayor porcentaje de producción de Carbonato de litio a nivel mundial. Esto permite identificar características altamente favorables para Chile, que vienen siendo visualizadas desde el año 2012, en donde se registró una participación del 36.08% en la producción mundial de litio a partir de salmueras, posicionándose como el segundo principal país productor a nivel mundial.

Por lo expuesto anteriormente, resulta transcendental determinar las oportunidades que tiene Chile en esta industria. Por esta razón, la presente investigación recopilará los antecedentes necesarios, considerando información proporcionada por fuentes primarias y secundarias respecto al alcance de la industria del Litio a nivel nacional e internacional, comparando esta información con la demanda proyectada que se estimará a partir de un modelo econométrico de regresión lineal simple y múltiple, para poder determinar las respectivas oportunidades y desafíos que tiene Chile en la industria del denominado “oro blanco”.

En relación a la estructura en la que se desarrolla la investigación, esta consta de 5 capítulos: el capítulo uno consiste en una breve introducción al tema; el capítulo dos abarca el marco teórico en el que se desarrolla la investigación; el capítulo tres describe la metodología a usar para poder lograr los objetivos planteados; el capítulo cuatro se desarrolla los análisis pertinentes, junto con la obtención de los resultados relacionados a estos mismos; y finalizando, se encuentra el capítulo cinco donde se disponen las respectivas conclusiones de la investigación junto a comentarios constructivos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar las oportunidades que presenta la industria del Litio en Chile a través de un análisis estratégico, y proponer una proyección de la demanda para los próximos 6 años.

1.2.2 Objetivos Específicos

-  Efectuar un análisis estratégico de la industria del Litio en Chile, aplicando las técnicas PESTEL y Cinco Fuerzas de Porter, junto con identificar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la industria.
-  Realizar un análisis de la oferta del Litio en el mercado nacional, identificando las empresas oferentes, volúmenes de producción y describiendo el proceso productivo que lo caracteriza.
-  Realizar una estimación de la demanda mundial del Litio para los próximos 6 años a partir de la demanda histórica de principales países compradores, aplicando regresión lineal múltiple.

CAPÍTULO II: Marco Teórico

2.1 Historia

Johan August Arfwedson (1792-1841) fue un químico sueco que estudió en la Universidad de Upsala (Suecia), donde se graduó en Derecho en 1809 y en Mineralogía en 1812. En 1817, descubrió el elemento litio en el depósito de petalita ($\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$), proveniente de una mina ubicada en la isla de Utö (Suecia), mientras trabajaba en el laboratorio del químico Jöns Jacob Berzelius. Este último, al notar que el elemento era capaz de formar compuestos similares a los de sodio y potasio, le dio el nombre de “Lithion” para indicar su ocurrencia en una piedra, a diferencia del sodio y el potasio los cuales fueron descubiertos en las cenizas de plantas y en la sangre animal (Institut für Seltene Erden und Strategische Metalle, 2000).

En 1818, el químico alemán, Christian Gottlob Gmelin descubre que las sales de litio generaban una llama de color rojo, cuando este se encontraba en combustión. Sin embargo, Gottlob en aquellos tiempos no pudo lograr la extracción del elemento. Fue recién en 1855 cuando Robert Bunsen y Augustus Matthiessen lograron producir grandes cantidades de litio puro, por medio de electrólisis de cloruro de litio fundido (Institut für Seltene Erden und Strategische Metalle, 2000).

Durante años, el litio y sus componentes no se presentaban como un elemento de interés, tenía un mínimo de porcentaje de utilización en la industria farmacéutica y como aditivos para esmaltes. Recién en 1923, la empresa alemana, Metallgesellschaft comenzó la producción industrial de litio metálico y carbonato de litio debido a la demanda que se generó después de la Primera Guerra Mundial, por su uso en aleaciones en base a plomo para rodamientos (Institut für Seltene Erden und Strategische Metalle, 2000).

El primer uso a nivel mundial del litio, fue en la industria de la cerámica, mediante la demanda en grandes cantidades de carbonato de litio. Incrementándose la producción de este elemento fuertemente durante la Segunda Guerra Mundial, debido al uso de hidruro de litio como fuente de hidrógeno para pequeños globos aéreos y jabones de litio para la fabricación de grasas y lubricantes para motores debido a sus propiedades no corrosivas y a su elevado punto de fusión que lo mantiene sólido o semisólidos a altas temperaturas (Wietelmann, 2000).

La utilización del litio predominó en industria de la cerámica y aluminio, dado a su capacidad de reducir su punto de fusión del vidrio y óxido de aluminio, hasta mediados de la década de los noventa, cuando su uso en la industria de las baterías comenzó a cobrar cada vez más importancia (Wietelmann, y otros, 2000).

2.2 Características técnicas

El Litio corresponde al primer metal de la tabla periódica encabezando la familia de los metales alcalinos. Su nomenclatura responde a la letra “Li” y al número atómico 3. Se trata de un metal que, en su forma pura, tiene un color de plateado a blanco y presenta características tales como: metal sólido más liviano y menos denso, blando, bajo punto de fusión y con elevada reactividad electroquímica. Da cuenta también de propiedades físicas muy favorables en términos de alta conductividad eléctrica, alta capacidad térmica, baja viscosidad y bajo coeficiente de expansión térmica. (Lenntech company, 2017)

Tabla N° 2.1 Descripción específica de las propiedades químicas del Litio.

Propiedades químicas	
Numero atómico	3
Valencia	1
Estado de oxidación	+1
Electronegatividad	1,0
Radio Covalente (Å)	1,34
Radio iónico (Å)	0,60
Radio atómico (Å)	1,55
Configuración electrónica	1s ² 2s ¹
Primer potencial de ionización (eV)	5,41
Masa atómica (g/mol)	6,941
Densidad (g/mol)	0,53
Punto de ebullición (°C)	1330
Punto de fusión (°C)	180,5

Fuente: Lenntech Company (2022).

Debido a su propiedad reactiva, no se encuentra naturalmente en su forma metálica pura, sino mezclado en minerales y sales, donde es extraído para ser convertido en compuestos y derivados (CHOCILCO, 2018). El litio, al ser el vigésimo séptimo elemento más abundante, está presente en aproximadamente 150 minerales, aunque solo algunos de éstos, son económicamente factibles de extraer, como lo son la lepidolita, petalita y Espodumeno (Minerales de litio de roca). Este último siendo el mineral más abundante que contiene litio, encontrándose en los cristales de los granitos y en pegmatitas generalmente mezcladas con cuarzo (British Geological Survey, 2016).

2.3 Fuentes de Litio

El litio, es un mineral abundante en la tierra, presente en una amplia gama de minerales. Encontrándose en diversas arcillas, salmueras continentales, salmueras asociadas a pozos petrolíferos y a campos geotermales; e inclusive en agua de mar. Sin embargo, solo en pocos depósitos se dan los niveles de concentración adecuados para su explotación comercial en las condiciones tecnológicas existentes (COCHILCO, 2012).

De acuerdo al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), las principales fuentes de litio son los sales en cuencas cerradas (58%), rocas pegmatitas y granitos (26%), arcillas enriquecidas de litio (7%), salmueras de yacimientos petroleros (3%), salmueras geotermales (3%) y zeolitas enriquecidas con litio (3%). Siendo los minerales de roca (roca pegmatitas) y salmueras las principales fuentes de extracción en la actualidad.

De las fuentes anteriormente mencionadas, en general, se pueden distinguir tres fuentes potencialmente explotables: mineral de roca o pegmatitas (comúnmente Espodumeno), salmueras (típicamente reservorios acuosos continentales) y rocas sedimentarias (COCHILCO, 2020). A continuación, en la Tabla N° 2.2, se presenta una somera clasificación de estas categorías según el tipo de depósito, participación estimada de sus recursos a nivel mundial y el estado natural en que se encuentran.

Tabla N° 2.2 Descripción de las tres principales fuentes de explotación del Litio.

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

Fuente: COCHILCO (2020).

2.3.1 Pegmatitas

Es la roca ígnea intrusiva de grano grueso formado a partir de magma cristalizado en el interior de la corteza terrestre, la cual puede contener cantidades extraíbles de un número de elementos, incluyendo litio, estaño, tántalo y niobio. Esta forma de depósito representa el 26% de los recursos mundiales conocidos de litio (COCHILCO, 2020).

Los tres tipos de mineral de roca más conocidos son:

- ✚ Espodumeno: Es el mineral de roca con litio más extraído. Existen de depósitos históricos en Australia y en regiones de Canadá y China.
- ✚ Lepidolita: Es una mica que contiene litio y también impurezas. La extracción de litio de mineral de roca con lepidolita tiene mayor costo en comparación con el Espodumeno, debido a que se requieren procesos adicionales para eliminar las impurezas que contiene. Actualmente se produce en forma económicamente viable en China.
- ✚ Petalita: este tipo de mineral produce concentrados de litio de menor ley que el Espodumeno, lo que reduce la producción final del compuesto de litio refinado.

Este tipo de mineral se extrae a través de la explotación de minas a cielo abierto o subterráneo, usando las técnicas mineras tradicionales, tales como la perforación, tronadura, concentración de mineral y posteriormente transporte. Este procedimiento es de alto costo, lo que significa que dichos depósitos se encuentran en desventaja en comparación con los

depósitos de salmuera; sin embargo, la concentración de litio en pegmatitas es considerablemente más alto que en las salmueras, de tal manera que depósitos con valores extremadamente altos de litio, pueden todavía ser económicamente viables (COCHILCO, 2020).

2.3.2 Salmueras

La composición de las salmueras, en cuanto a niveles de contenidos de litio, varía considerablemente dependiendo de la presencia de otros elementos como el potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, boro, cloro, nitratos, cloruros, sulfatos y carbonatos, lo cual requiere que cada salmuera sea tratada en forma particular, de acuerdo a su composición.

En general, la extracción de litio a partir de fuentes de salmuera ha demostrado ser más rentable que la producción a partir del mineral de roca dura (pegmatitas). Sin embargo, la producción a partir de pegmatitas es la principal fuente de oferta, representando un 57% del total (COCHILCO, 2020).

Dentro de las salmueras, se conocen tres tipos de depósitos: Continental, geotérmicas y campos petrolíferos. Siendo el más común el de cuencas continentales del desierto salino (también conocidos como los lagos de sal, salinas o salares), teniendo ocurrencia en cuencas endorreicas, donde fluyen aguas superficiales y subterráneas que están moderadamente enriquecidas en litio. Los depósitos con valor económico generalmente se sitúan en áreas donde la alta evaporación solar provoca un aumento en la concentración de litio.

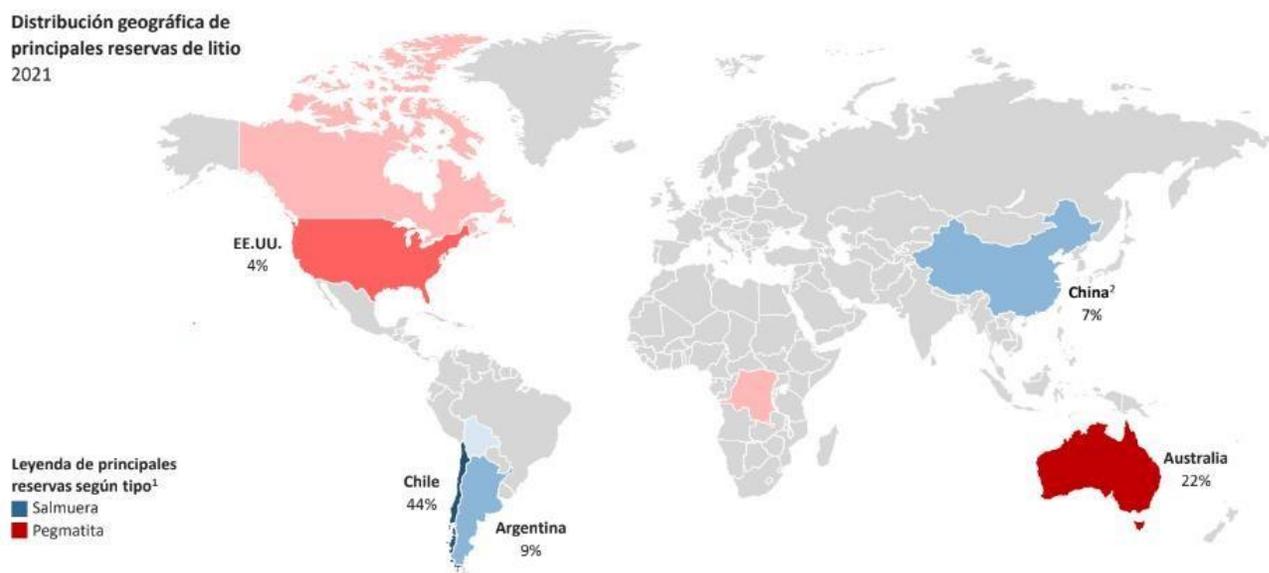
El litio extraído es bombeado de la salmuera a la superficie, para posteriormente ser concentrado en pozas de evaporación en una serie de estanques solares (método convencional). Esta solución rica en litio luego se procesa para producir CARBONATO DE LITIO O HIDROXIDO DE LITIO. Siendo Chile y Argentina, uno de los principales productores de salmuera del mundo (USGS, 2018).

2.3.3 Rocas Sedimentarias

Representa sólo el 8% de los recursos mundiales de litio conocida y se encuentran en depósitos de arcilla y en rocas evaporitas lacustres.

A continuación, en la Figura 2.1, se visualiza la distribución geológica de las principales reservas de litio a nivel mundial.

Figura N° 2.1 Distribución, a nivel mundial, de las principales fuentes de litio.



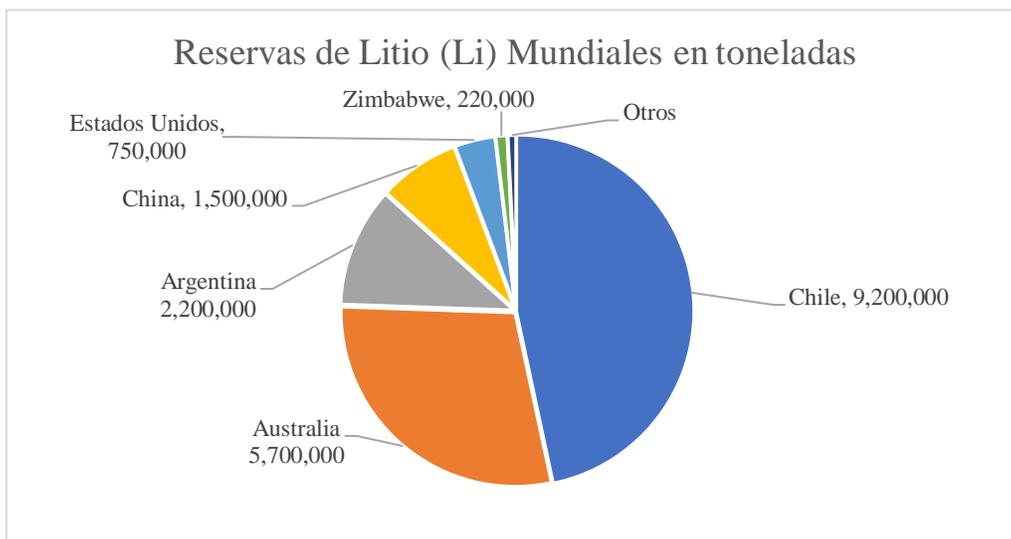
Fuente: COCHILCO, en base a Reuters y USGS, 2021

2.4 Recursos y Reservas

El litio no es un metal escaso, ya que existen importantes cantidades de recursos y reservas. En algunos casos estas cantidades se encuentran en concentraciones baja de litio, lo cual no permite que sea económicamente factible de extraer en todas las regiones, como es el caso de litio presente en el océano (British Geological Survey, 2016).

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) en la actualidad, la mayor cantidad de reservas mundiales de litio se encuentran en Chile con un 47%, seguido por Australia y Argentina.

Gráfico 2.1 Países con mayores reservas de Litio a nivel mundial.



Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), 2022

CHILE

Reservas de litio: 9.200.000 toneladas métricas.

Chile fue el segundo productor de litio en 2020 con 18.000 toneladas. Pero tiene la mayor cantidad de reservas del mundo por una gran cantidad (USGS, 2021).

De acuerdo con la información de la agencia Reuters, el país posee la mayor parte de reservas de litio “económicamente extraíbles” del mundo, y su Salar de Atacama alberga aproximadamente el 37% de la base de reservas de litio del mundo.

SQM es un productor de litio clave en el Salar de Atacama de Chile, y en 2018 finalmente llegó a un acuerdo, largamente esperado, con CORFO, la agencia de desarrollo del país, sobre regalías.

Albemarle es otro importante productor de litio en Chile. A pesar de la volatilidad a corto plazo, la empresa es optimista sobre la demanda de litio a largo plazo (Minería Sustentable, 2021).

AUSTRALIA

Reservas de litio: 5.700.000 toneladas métricas.

En 2019 fue el mayor productor de litio a nivel mundial. La producción minera del país se situó en 42.000 toneladas en comparación con el segundo lugar, Chile, que produjo 18.000 toneladas (USGS, 2021).

La extracción de litio del país proviene en gran parte de la minería de roca dura de Espodumeno, un mineral que contiene altos niveles de litio, así como de aluminio.

La mina de litio de Greenbushes en Australia Occidental (empresa conjunta entre Albemarle y Tianqi Lithium de China) de considera el proyecto más grande del mundo para extraer el metal.

En 2019, las exportaciones de litio de Australia han totalizado casi 1.600 millones de dólares, y la mayor parte del comercio se dirige a China (USGS, 2021).

ARGENTINA

Reservas de litio: 2.200.000 toneladas métricas.

Argentina es el cuarto productor mundial de litio, produciendo el año 2021, 6.200 toneladas métricas del metal. También ocupa el tercer lugar en reservas de litio en el mundo con 2.200.000 TM (USGS, 2021).

CHINA

Reservas de litio: 1.500.000 toneladas métricas.

China cuenta con reservas de litio de 1.500.000 TM, en donde, el año 2021, produjo 14.000 TM del mineral (USGS, 2021). Teniendo un aumento de 3.200 TM en relación al año 2020. El consumo de litio en China es alto debido a sus industrias de fabricación de productos electrónicos y vehículos eléctricos. También produce casi dos tercios de las baterías de iones de litio del mundo, y controla la mayoría de las instalaciones de procesamiento de litio del mundo.

El año 2020 tanto los precio al contado del carbonato de litio, como los precios al contado del hidróxido de litio en China, se recuperaron los primeros meses del 2019.

Una vez que el litio se extrae de los depósitos de litio, a menudo se procesa en un compuesto de litio, generalmente carbonato de litio o hidróxido de litio, y luego se usa en baterías de iones de litio.

ESTADOS UNIDOS

Reservas de litio: 750.000 toneladas métricas.

Aunque Estados Unidos se encuentra en la cuarta posición respecto a reservas de litio más grandes del mundo, el Servicio Geológico de EU afirma que la actividad de producción en el país es mínima.

Solo hubo una operación activa de Estados Unidos en 2019, correspondiente a un proyecto de extracción de salmuera en el estado de Nevada.

La mayoría del consumo de litio del país se abastece de las importaciones de Argentina y Chile. A pesar de tener salmueras continentales, salmueras geotérmicas, hectorita, salmueras de yacimientos petrolíferos y pegmatitas (Rumbo Minero Internacional, 2020).

ZIMBABWE (ZIMBABUE)

Reservas de litio: 220.000 toneladas métricas.

El año 2021, la producción de este país se mantuvo al mismo nivel que en 2019.

Bikita Minerals, de propiedad privada de Zimbabue, es su único productor de litio y supuestamente posee el depósito de litio más grande conocido del mundo con más de 11 millones de toneladas (USGS, 2021).

OTROS

Otros países que se destacan por sus reservas, es Brasil y Portugal.

La producción de litio en Brasil ha despegado en los últimos años, introduciéndose a la lista de los principales países productores de litio. Después de lograr una producción de 400 TM, o menos, entre 2011 y 2018, para alcanzar una producción país de 2.400 TM en el 2019 (USGS, 2021).

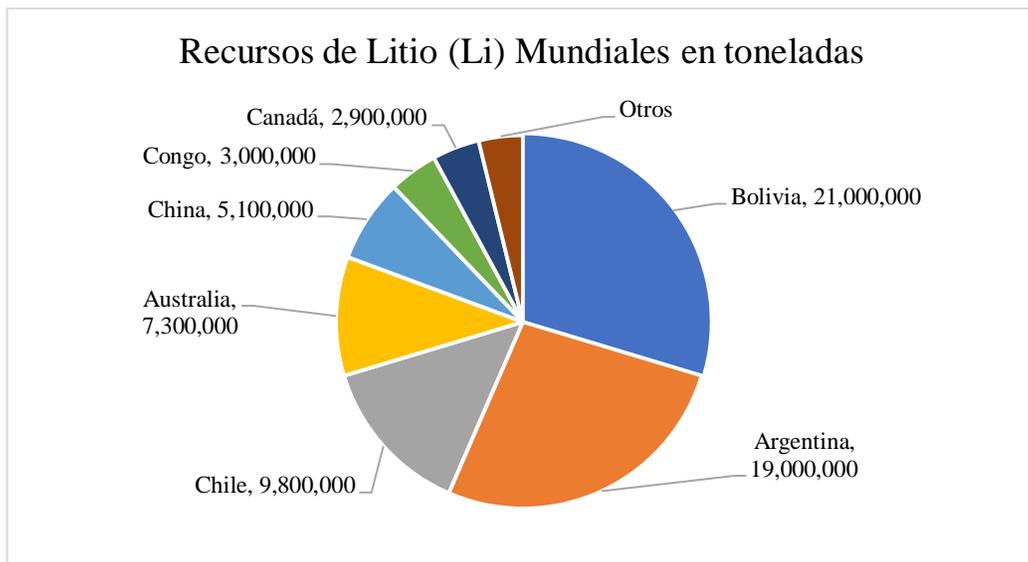
Por otro lado, se encuentra Portugal, el cual produce menos litio que los seis países que le preceden, sin cambios desde el 2019.

A pesar de la producción comparativamente es baja, las reservas de litio de Portugal se sitúan en 60.000 TM (USGS, 2021).

Debido a la exploración continua, los recursos del litio han aumentado sustancialmente en todo el mundo y suman alrededor de 89 millones de toneladas, encabezando la lista Bolivia

y Argentina con el 38%, continuando con Chile con el 16%. Estos tres países son denominados el “Triángulo del litio”, debido a que concentran los mayores recursos del metal a nivel mundial (BBC News, 2020).

Gráfico N° 2.2 Países con mayores recursos de Litio a nivel mundial.



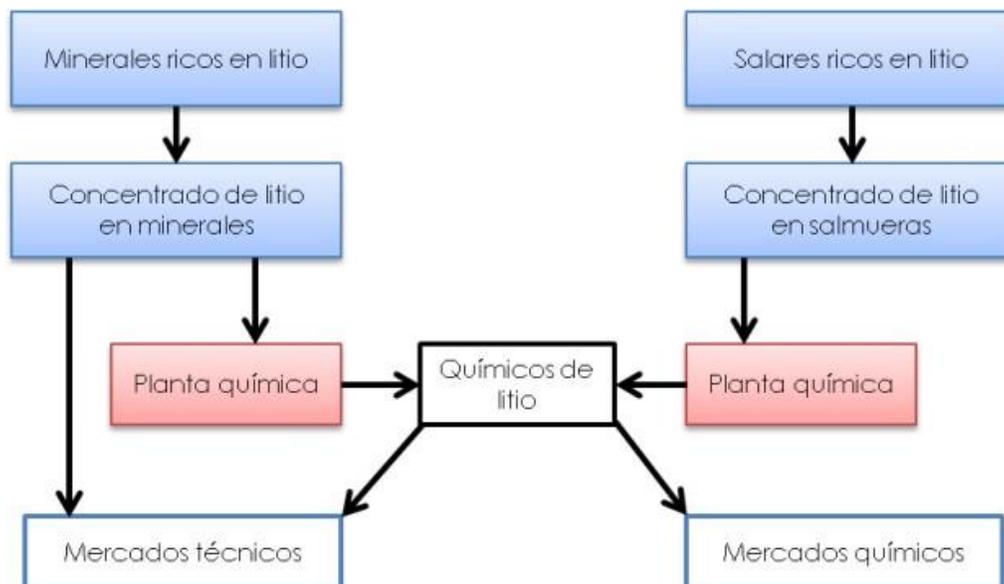
Fuente: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), 2022

Si bien existen países con abundantes recursos, estos no son económicamente factibles de explotarlos debido a sus altos niveles de impurezas.

2.5 Productos de Litio

El litio se recupera en forma de carbonato, cloruro o hidróxido a partir de minerales de litio en rocas pegmatitas o de sales disueltas en salmueras de salares. En el caso de los minerales, se explota la roca, y mediante distintos procesos como el chancado, molienda y flotación diferencial se obtiene un concentrado del mineral que contiene el litio, como el Espodumeno o la petalita. Este, a su vez, se utiliza directamente en el mercado técnico y como material base en el mercado químico para la elaboración de compuestos de litio (COCHILCO).

Figura N° 2.2 Fuentes de Litio.

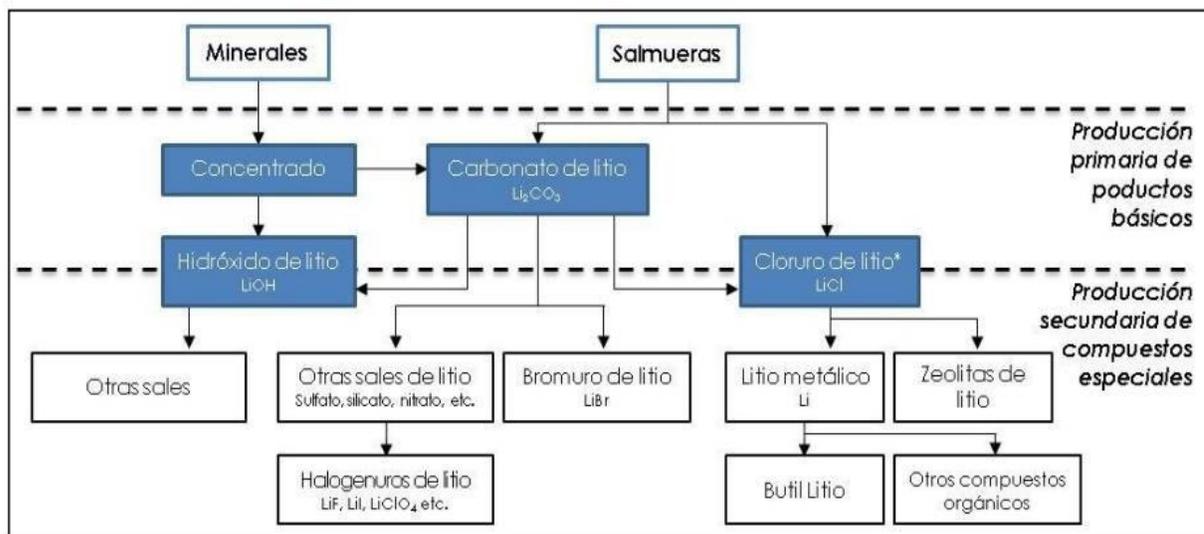


Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas productoras.

Los químicos de litio que se producen a partir de los concentrados, el carbonato y el hidróxido de litio. Estos son la materia prima para elaboración de una cadena de compuestos y productos especiales que se detallan en la Figura N° 2.5.

Por su parte, en los salares se extraen las salmueras que contienen diversas sales disueltas que se separan mediante la evaporación solar. La solución restante es tratada en una planta química, donde se producen carbonato o cloruro de litio. A partir de estas sales se elaboran el litio metálico e hidróxido de litio, entre otros, que es la materia prima de una serie de químicos de litio como los halogenuros o el butil litio. En este contexto, es preciso señalar que el cloruro y el hidróxido también se obtienen como producto secundario a partir del carbonato de litio (COCHILCO, 2018).

Figura N° 2.3 Cadena de producción primaria y secundaria del Litio.



Fuente: COCHILCO en base a información de las empresas productoras de litio.

En resumen, de la cadena de producción minera se obtienen los siguientes productos básicos de litio:

- ✚ Concentrado de minerales de litio.
- ✚ Carbonato de litio.
- ✚ Cloruro de litio.
- ✚ Hidróxido de litio.

2.6 Usos y Aplicaciones del Litio

El litio posee características y propiedades únicas. Es su estado puro es un metal gris plateado y el más ligero de los altamente reactivos metales alcalinos. Poseyendo propiedades significativas como:

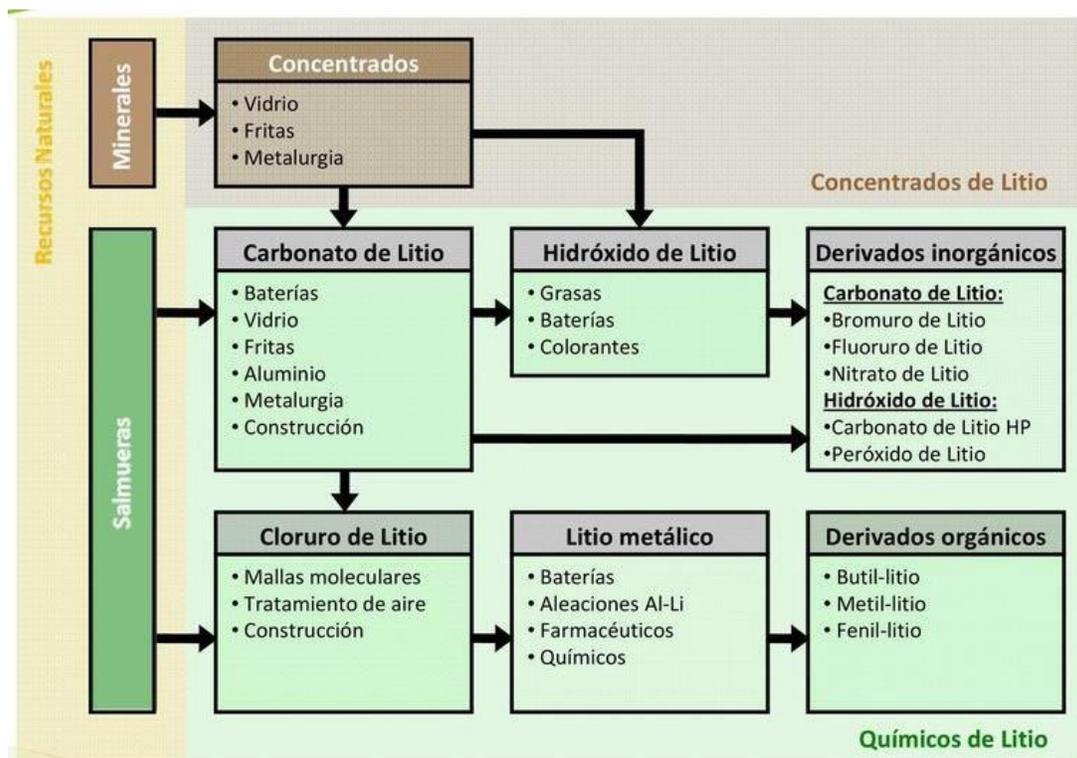
- ✚ Bajo coeficiente de expansión térmica.
- ✚ Elemento sólido mas liviano a temperatura ambiente.
- ✚ Sólido con la más alta capacidad de calor específico.
- ✚ Amplia variedad de derivados o compuestos organometálicos o inorgánicos.

Debido a estas propiedades, el litio, es utilizado en una gran cantidad de industrias altamente especializadas, tales como la química y farmacéutica. Destacando, principalmente, en la industria automotriz debido a que el litio es utilizado en vehículos eléctricos, tecnología cada vez más decisiva en la búsqueda de un desarrollo más sustentable para el planeta. Además, las baterías de ion litio, son utilizadas en computadores portátiles, teléfonos móviles, cámaras digitales y en herramientas eléctricas de alta potencia (COCHILCO, 2013).

Por otra parte, el carbonato de litio se emplea como materia prima para elaborar vidrios especiales, cerámicos y enlozados, cementos, polvos para colada continua, aire acondicionado industrial, aluminio y medicamentos.

El hidróxido de litio es clave para la producción, en un 70%, de grasas lubricantes capaces de funcionar en condiciones extremas de temperatura y carga. Como también es utilizado en la elaboración de colorantes (SQM, 2020).

Figura N° 2.4 Los productos del litio y sus principales aplicaciones asociadas.



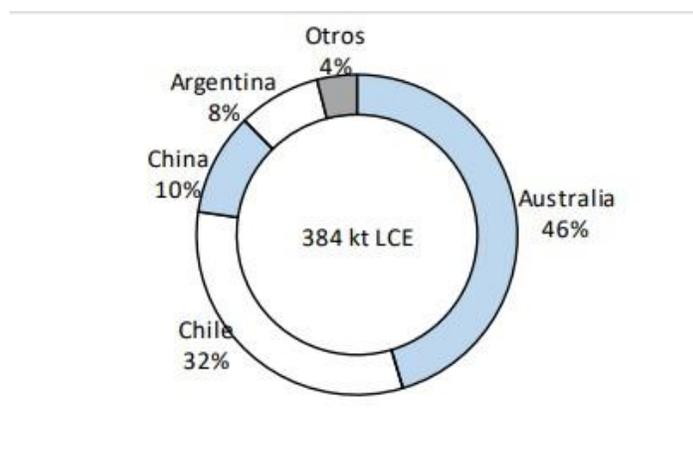
Fuente: SQM.

2.7 Participación de mercado

2.7.1 Por país

Considerando la producción mina, al observar la Figura N° 2.7 se puede apreciar 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%).

Gráfico N° 2.3 Producción de litio por país.



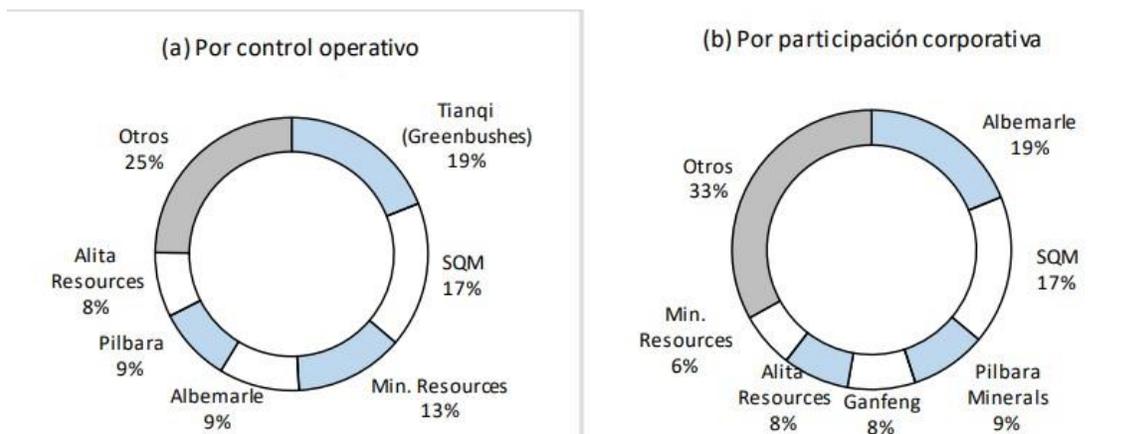
Fuente: COCHILCO (2021).

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

2.7.2 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 operaciones. En la Figura N° 2.8 se grafica ambas distinciones.

Gráfico N° 2.4 Producción de Litio por (a) empresa operadora y (b) controladora.



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

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. Así, midiendo por participación corporativa en 2020 vemos que dos empresas, Albemarle y SQM, concentraron el 36% de la producción minera 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 mineral agregada, y se debería considerar a alrededor de 20 empresas para alcanzar una proporción equivalente al 60% de la producción mina.

En la actualidad, 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 (COCHILCO, 2021).

2.8 Consumo de Litio

2.8.1 Por compuesto químico

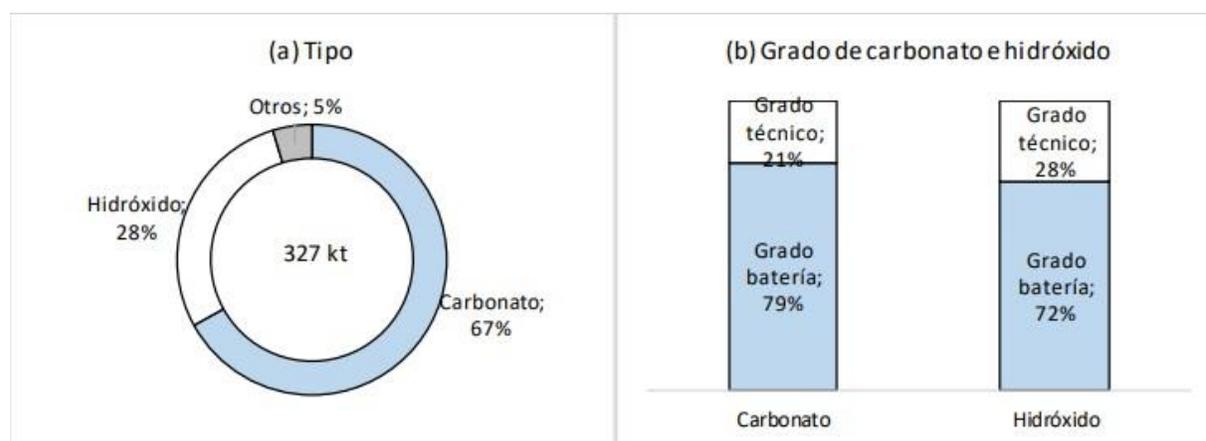
En términos generales el litio, como producto, se puede categorizar según su composición química en carbonato, hidróxido y otros compuestos que incluyen concentrados, butil-litio,

bromuro y metal de litio. En la actualidad, como se aprecia en la Figura 2.9, 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 del hidróxido), bromuro metal de litio en grado batería y otros compuestos (COCHILCO,2020).

De igual manera, 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 se aprecia en el panel (b) de la Figura 2.9, 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 ion-litio (COCHILCO, 2021).

Gráfico N° 2.5 Demanda de Litio por (a) tipo y (b) grado de carbonato e hidróxido de Litio.



Fuente: COHILCO (2021).

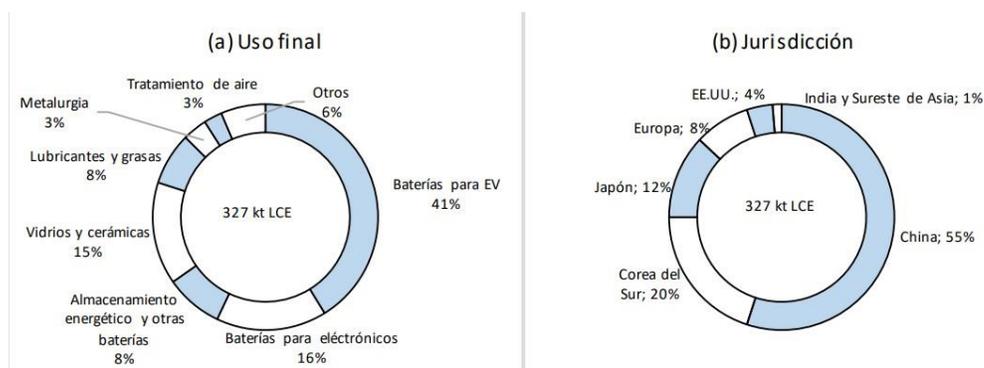
2.8.2 Por uso final y jurisdicción

La Figura 2.10 muestra en el panel (a) el consumo por uso final del litio y en el panel (b) el consumo a nivel territorial. En relación al panel (a), se puede observar que durante el 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, siendo 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. Pero esta alta demanda por parte de China en el consumo no es accidental. En efecto, responde a su construcción durante años de una cadena industrial de fabricación de baterías 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, quienes también cuentan con participación significativas en el consumo.

Gráfico N° 2.6 Consumo de Litio (a) por uso final y (b) según jurisdicción.



Fuente: COCHILCO (2021).

2.9 Costos de producción

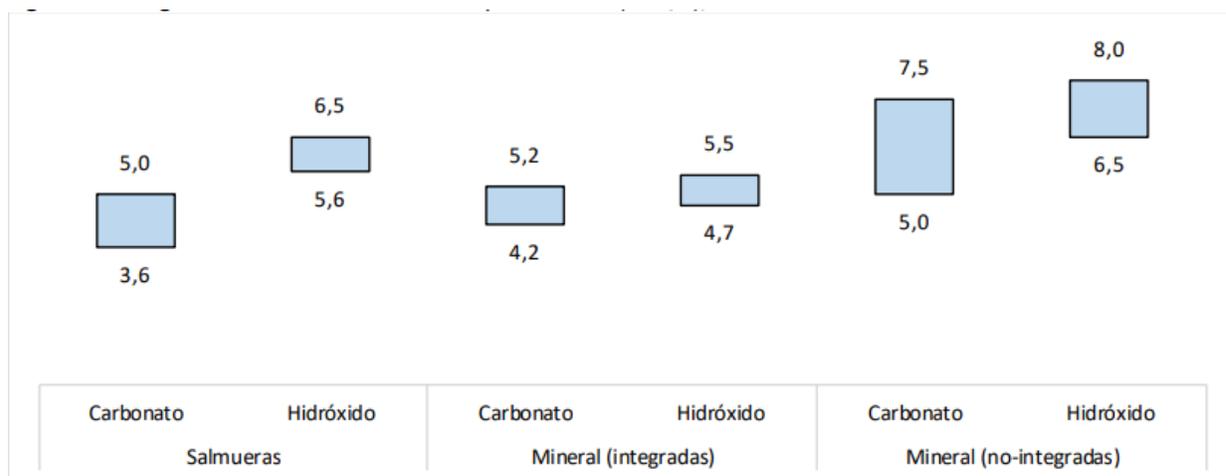
Como se ilustra en la Figura N° 2.11, en general los costos operacionales pueden variar significativamente según el tipo de producto final, sea Carbonato o Hidróxido de Litio, y el tipo de operación considerada, sean salmueras o bien de mineral roca. Las operaciones de mineral de roca pueden estar integradas entre producción mina y su planta química o no, es decir, que venden Espodumeno a terceros para su procesamiento químico en carbonato o hidróxido.

Las faenas no integradas son las que presentan mayores costos operacionales tanto para la producción de carbonato, típicamente situándose entre 5.000-75.000 USD/t, como de hidróxido, entre 6.500-8.000 USD/t. Situación que se debe, en parte, a los mayores costos de transporte enfrentados (COCHILCO, 2021).

Ahora bien, en lo que respecta a los costos de las operaciones de salmueras en relación a las de mineral de roca integrada, la situación es disímil según el tipo de producto. En particular, la producción de carbonato de litio a partir de salmueras tiende a fluctuar entre 3.600-5.000 USD/t, lo que la hace menos costosa en relación a las operaciones integradas a partir de mineral de roca, cuyos costos normalmente van entre 4.200-5.200 USD/t (COCHILCO,2021). Esto se debe, en parte, a la naturaleza menos intensiva en trabajo y capital de las operaciones de salmueras.

Por otro lado, en la Figura N° 2.11, se puede apreciar que la producción de hidróxido de litio tiende a ser menos onerosa en las operaciones integradas de mineral de roca, con costos operacionales entre 4.700-5.500 USD/t, costo menor a comparación de las salmueras. Esto se atribuye, fundamentalmente, a que los productos de hidróxido a partir de mineral de roca no requieren producir primero carbonato de litio para luego convertirlo en hidróxido, que es lo que sucede con los productores a partir de salmueras (COCHILCO, 2021).

Figura N° 2.5 Rango normal estimado de costos operacionales (USD/t), 2021.



Fuente: COCHILCO en base a Roskill y otras fuentes de mercado, 2021.

Cabe destacar que a los datos expuesto en la Figura N° 2.11, no se incluyen los royalties ni impuestos a las ganancias.

2.10 Flujo internacional del Litio

Debido a la distribución geográfica de los centros productivos y la demanda, el mayor flujo de materia prima es de Sudamérica y Australia hacia Asia, sobre todo a China. Mientras el material embarcado en Australia son los concentrados de Espodumeno, Chile y Argentina envían compuestos básicos de litio (COCHILCO, 2013).

Cabe señalar que justamente en Asia, se encuentra la mayor parte de las plantas de conversión y químicas. Por ende, es ahí donde se concentra la producción de compuestos y químicos de litio, además de la manufactura de baterías y sus compuestos, productos electrónicos y finalmente el desarrollo de vehículos eléctricos.

Por su parte, las exportaciones desde China son bajas dado que el consumo interno es alto por la producción y la aplicación de las sales especiales de litio en el mercado propio. Ello evidencia una relación entre la ubicación geográfica de la producción secundaria de litio y su consumo (COCHILCO).

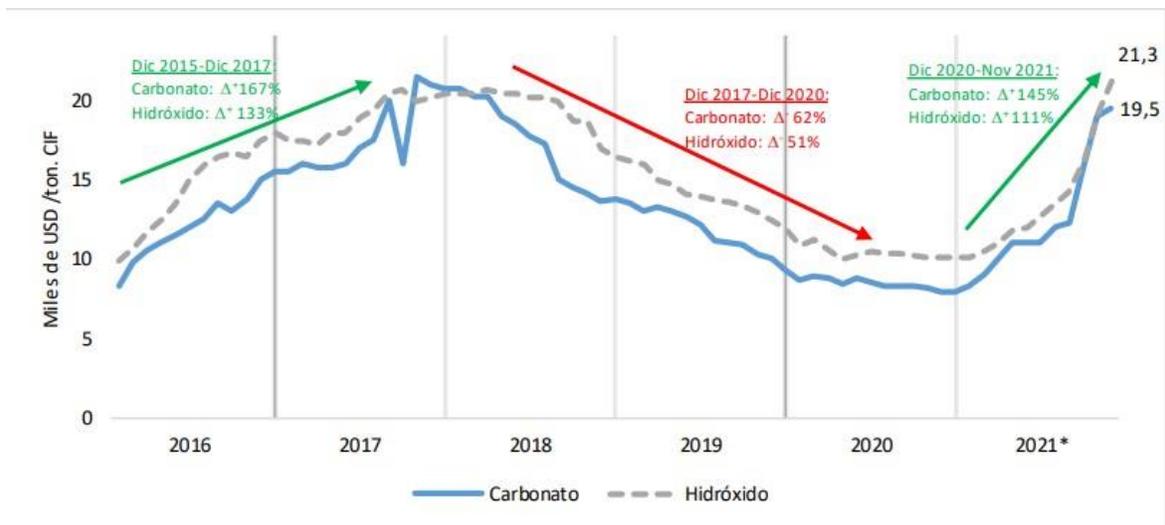
Existe otro flujo importante de compuestos desde Sudamérica a Estados Unidos dado que dos importantes operadores de los salares pertenecen a compañías norteamericanas: Sociedad Chilena del Litio en el Salar de Atacama (Rockwood Lithium) y FMC en el Salar del Hombre Muerto. En Estados Unidos, a su vez, la materia prima es procesada en plantas químicas para producir otros compuestos de litio.

2.11 Precio del Litio

El litio ha sido uno de los minerales con mayores incrementos de precio en las últimas décadas. Como se describió anteriormente, el incremento de la demanda impulsada principalmente por la utilización de baterías recargables para aparatos electrónicos, posteriormente por los vehículos eléctricos y más recientemente por los sistemas de almacenamiento de energía; acompañada por la falta de certeza en determinados ciclos sobre una capacidad de respuesta adecuada del lado de la oferta, permitieron un incremento acelerado del precio del metal. A medida que se despegó el mercado de vehículos eléctricos, la demanda mundial de litio superó la oferta por primera vez en 2021, según S&P Global, y se prevé que el déficit se amplíe. Los precios de carbonato de litio, transportado por mar, han aumentado en un 437% desde el inicio de 2021 (casi 38.000 euros por toneladas), mientras que los precios del hidróxido de litio han subido un 245% durante el mismo periodo, según datos de S&P Global y Trading Economics (COCHILCO, 2021).

La Figura 2.12 ilustra la evolución que ha 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 puede distinguir tres periodos tendenciales: una sostenida ola de crecimiento durante 2016-2017, una progresiva caída durante 2018-2020, y la recuperación, o segunda ola de crecimiento, desde diciembre de 2020 hasta 2021.

Gráfico N° 2.7 Precio nominal promedio del carbonato e hidróxido de litio en Asia (miles de US\$/ton, CIF).



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

2.11.1 Crecimiento, 2016-2017

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 (COCHILCO, 2021).

2.11.2 Caída, 2018-2020

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 (COCHILCO, 2021).

2.11.3 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, 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 (COCHILCO, 2021).

2.12 Litio en Chile

2.12.1 Historia

En 1962, durante el Gobierno de Don Jorge Alessandri Rodríguez, la empresa minera norteamericana Anaconda Copper Mining Company, operadora del yacimiento de Chuquicamata, exploraba el salar de Atacama en búsqueda de agua para sus operaciones cuando encontró agua salada. Al analizar el contenido químico de la salmuera surgieron las primeras evidencias de la presencia de altas concentraciones de litio, potasio, magnesio y boro en el salar de Atacama. Lo anterior gatilló que el Ministerio de Minería solicitara al Instituto de Investigaciones Geológicas en 1969, un estudio sobre el salar de Atacama. El estudio finalizado en 1974 estableció las reservas de litio en el salar y dio inicio a una nueva serie de estudios por parte de Corfo, los que confirmarían las excelentes condiciones para la explotación de la salmuera a un costo inferior al de Estados Unidos.

Estos hechos, el descubrimiento de las salmueras y los resultados favorables de los estudios, motivaron a técnicos e ingenieros chilenos a incorporarse a Corfo a fines de la década de los sesenta, y a las universidades a realizar estudios sobre la cristalización de sales mediante evaporación solar y otras técnicas.

Durante el año 1977 Corfo solicitó y obtuvo 59.280 pertenencias mineras en el salar de Atacama, posteriormente renunció a 27.052, manteniendo sólo 32.768 pertenencias mineras. En paralelo Codelco obtuvo pertenencias en el salar de Peralta y en el salar de Maricunga.

Posteriormente, en 1979, William Walsh, presidente del Directorio de Foote Mineral, y el coronel Rolando Ramos, vicepresidente Ejecutivo de Corfo, firmaron la constitución de la Sociedad Chilena del Litio (SCL) con un 55% de la propiedad por parte de Foote Mineral y un 45% por parte de Corfo. El 45% de SCL aportado por Corfo fue realizado mediante la entrega de propiedades mineras en el salar de Atacama a cambio de las acciones de la sociedad. Corfo estableció un convenio donde a) se asignó a SCL una cuota de producción

por 200.000 toneladas de litio contenido o equivalente, en forma de productos del metal, b) durante un período de 30 años y prorrogable por períodos de 5 años, y c) se le asignaba exclusividad por 8 años a SCL para operar en el salar de Atacama.

La entrada en escena de SCL significó una inversión de aproximadamente 54 MUSD y el reconocimiento de Chile como un productor mundial de litio.

La propiedad de SCL ha cambiado varias veces de dueño luego que Corfo vendiera su parte. El año 1998 Chemetall adquiere a Foote Mineral Company, y forma ChemetallFoote Company, la que más tarde es comprada por Rock Wood Holdings Inc. el año 2004, y finalmente esta última es adquirida por Albemarle Corporation a principios de 2015 y siendo el actual dueño de SCL.

2.12.2 Depósitos de Litio en Chile

Los yacimientos de litio chilenos en su totalidad de salmueras contenidas en salares y lagunas salinas. Estos depósitos se ubican en las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Atacama en la zona cordillerana, pre- cordillerana y depresiva central.

Se conocen aproximadamente 60 salares y lagunas con recursos de litio, siendo el Salar de Atacama el de mayor superficie. La gran mayoría de estos salares no ha sido explotado en detalle, por lo que no hay estimaciones de reservas de litio fuera del Salar de Atacama.

Figura N° 2.6 Distribución de los distintos salares localizados en Chile.



Fuente: Minería Abierta.

Salar de Atacama

Es el salar más importante en cuanto a concentración y cantidad de reservas de litio. Se encuentra ubicado en una fosa tectónica con una superficie alrededor de 3.000 (kilómetros cuadrados), con múltiples accesos los cuales conectan San Pedro de Atacama con Peine. Desde la cuenca se drenan aguas subterráneas y superficie provenientes desde la Alta Cordillera (Garces, 2018).

Entre los beneficios de este salar se encuentra la cantidad de elementos, además de litio, como lo es el potasio y sulfato que incrementan su valor comercial, pues son considerados como coproductos del litio. Además, las condiciones climáticas asociadas a la escasa precipitación y las altas tasas de evaporación reducen los costos y aceleran el proceso de obtención de litio desde las salmueras.

En la actualidad sólo dos empresas se encuentran extrayendo litio de este salar, las cuales son Albemarle y SQM. Estas empresas poseen derechos de explotación para el Salar de Atacama

que corresponden al Contrato de Arrendamiento que vencen el 31 de diciembre de 2030. El contrato, modificado en enero de 2018 por el Acuerdo de Arbitraje Corfo, permite a la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) establecer un límite total de producción y ventas acumuladas, en el caso, por ejemplo, de SQM estas son hasta 349.553 toneladas métricas de litio metálico equivalente (1.860.670 toneladas de carbonato de litio equivalente) además de aproximadamente 64.816 toneladas métricas de litio metálico equivalente (345.015 toneladas de carbonato de litio equivalente) restantes de la cantidad original autorizada

A continuación, en la Figura N° 2.14, se ilustra la ubicación de ambas empresas en el Salar de Atacama.

Figura N° 2.7 Distribución geográfica de las empresas SQM y Albemarle.



Fuente: Ministerio de Minería (2022).

Salar de Maricunga

Ubicado a 160 Km de Copiapó, es considerado como el segundo salar con más litio del país, después del Salar de Atacama. Cuenta con una superficie de 145 (Kilómetros cuadrados). Si bien existen proyectos aprobados mediante CEOL entre el Estado chileno y CODELCO para la extracción de litio, estos se encuentran paralizados debido a reclamaciones y recursos judiciales interpuestos por distintas organizaciones sociales contra las empresas Minera Salar Blanco SpA. y SIMCO (CODELCO, 2022).

Según el Estudio de Impacto Ambientas (EIA) de SIMCO SpA., este salar tiene una de proyección de 5.700 toneladas anuales de carbonato de litio, 9.100 toneladas de hidróxido de litio y 38.900 toneladas de cloruro de potasio. Sumado a lo anterior, el EIA de Minera Salar Blanco SpA. proyecta una producción de 20.000 toneladas anuales de carbonato de litio y 58.000 de cloruro de potasio (OLCA et al., 2021).

Salar de Pedernales

Es un salar pre-andinos que se compone de costras salinas de yeso y halita, depósitos sedimentarios de arcilla y arena. Tiene una superficie de 335 (kilómetros cuadrados) y es la fuente de abastecimientos de agua para la División El Salvador de CODELCO. La cosmovisión y modo de vida de la comunidad indígena Colla, quien está enfocada en la Madre Tierra, imposibilita la exploración de litio debido al impacto ambiental que se genera en este proceso (SERNAGEOMIN).

2.12.3 Proyectos relacionados al Litio

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.

Como se desprende de la Tabla N° 2.3, 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 (COCHILCO, 2021).

✚ SQM, está desarrollando 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 120kt 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 El mercado del litio – Desarrollo reciente y proyecciones al 2030 33 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 210kt/ade 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).

A continuación, en la Tabla N° 2.3, se resumen todo lo anteriormente expuesto, donde se indica el tipo de proyecto, junto al operador que lo está realizando, la ubicación de esta misma, además de los permisos requeridos para la realización del proyecto, junto con la inversión estimada de este y la etapa en la que se encuentra en la actualidad.

Tabla N° 2.3 Principales proyectos de explotación de Litio en Chile.

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.

CAPÍTULO III: Metodología de la investigación

En virtud de identificar las oportunidades a las que se ve expuesta la industria del Litio en Chile, el presente estudio consideró diversos análisis con la finalidad de comprender la dinámica que lo caracteriza. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis estratégico del segmento mencionado, partiendo por un análisis del sector externo, el cual considero aquellas variables exógenas que afectan a dicha industria, empleando métodos tales como PESTEL y las cinco fuerzas de Porter. Luego se efectuó un análisis interno en relación a las características que presenta esta industria como conjunto, es decir, se contempló aquellas variables endógenas que indican en él. Una vez realizados ambos análisis, se procedió a definir/establecer la matriz FODA, reflejando las respectivas debilidades y fortalezas (ambiente interno), como también aquellas amenazas y oportunidades (ambiente externo) que presenta el Litio a nivel nacional. De esta forma se podrán visualizar las tendencias del mercado junto a la adquisición de un conocimiento clave respecto de todas las variables que interactúan y afectan a la industria.

Por otro lado, se realizó un análisis a detalle de la oferta y del proceso productivo del Litio, a través de informes, memorias, documentos propios del sector productivo generados por instituciones tanto públicas como privadas. La finalidad de dicho análisis se centra en la necesidad de conocer en profundidad la dinámica del segmento, sus políticas y/o estrategias empleadas, y el rol que este cumple como proveedor de esta materia prima.

Una vez desarrollado lo anterior, se efectuó un análisis de la demanda mundial del Litio, recopilando información sobre los niveles de exportación que presenta el país. Con ello se buscó identificar los potenciales compradores, analizando la economía de estos a través del PIB. En base a la recopilación de los datos históricos de las variables que influyen en la demanda del mineral, se realizó una estimación para los próximos 6 años, empleando, en una primera instancia un modelo de regresión lineal simple, para las variables dependientes, definido a continuación:

$$Y = b + aX$$

Donde:

Y: Variable dependiente o estimada.

X : Variable independiente o explicativa.

a : Coeficiente de sensibilidad de la variable independiente que representa la pendiente del modelo.

b : Constante del modelo.

Con los datos arrojados mediante la regresión simple, se procedió a realizar una estimación de las exportaciones de Chile (variable independiente) para los próximos 6 años, utilizando el método de Regresión Lineal Múltiple, utilizando la siguiente ecuación:

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Donde:

\hat{Y} : Valor del pronóstico (Variable independiente)

X_n : Variables dependientes

a : Intersección en Y

b_n : Pendiente de la ecuación.

En función del FODA y los datos estimados, por medio de los modelos definidos, se evaluó y analizó la importancia que puede presentar el Litio para el mercado nacional en los próximos años. Todo esto, siendo apoyado por opiniones de expertos, mediante entrevistas realizadas por sitios de interés, descritas en los Anexos del presente informe, para conocer sus percepciones acerca del tema. En estos Anexos se adjuntaron las entrevistas realizadas al ex presidente de CORFO, Eduardo Bitrán, como también al actual asesor del Litio y Salares del Ministerio de la Minería, Gonzalo Gutiérrez. Sumado a los comentarios realizados por los principales ejecutivos de compañías como ENAMI, Albemarle, SQM, entre otras.

CAPÍTULO IV: Desarrollo y resultados

4.1 Análisis Estratégico

4.1.1 Análisis Externo

4.1.1.1 Análisis PESTEL

Factores Políticos

Actualmente Chile no cuenta con una política gubernamental sobre el Litio, sin embargo, se han presentado diversas propuestas por parte de diferentes actores políticos, con la finalidad de que el Estado adquiriera una mayor participación en dicha industria. En efecto, se creó la Comisión Nacional del Litio en el año 2014, impulsada por la presidenta de aquel entonces, Michelle Bachelet, con el objetivo principal de proponer una política pública para la explotación y procesamiento del litio mediante un enfoque sustentable. Dentro de las propuestas levantadas por esta comisión se encuentra la creación de una empresa estatal que se dedique exclusivamente a la explotación de los salares, en función de un modelo de negocios que permita generar valor agregado a los productos obtenidos desde las salmueras. Por su parte, el gobierno del presidente Gabriel Boric planteó, como uno de los ejes centrales de su programa, la creación de una Empresa Nacional del Litio, siendo ratificado en su cuenta pública en junio del 2022. Ante lo expuesto, la ministra de minería, Marcela Hernando indico que “Se trataría de una empresa controlada por el Estado, quien tendrá participación en la exploración, exportación y manufactura de elementos de batería”. Destacando, que esta empresa no sería un símil de Codelco, debido a que el rol de los privados será fundamental en esta tarea. Buscando, en el 2023, un socio estratégico para el desarrollo de la industria. A ello se le suma la asociatividad con otros países como parte de una política nacional para el litio (Willy Kratch, Subsecretario de minería 2022).

Se proyecta que a fines del año 2022 se presentará el modelo para la creación de la empresa nacional del litio y la respectiva política, según Hernando (julio, 2022). Con la finalidad de diseñar e implementar ambas propuestas del programa se han llevado a cabo licitaciones por parte del Ministerio de Minería, y la Subsecretaría. El 22 de julio del presente año, en Mercado Público se dio a conocer la licitación “Plataforma Pública de Información: Litio y Salarés”, en la que se busca promover un servicio que tiene por objetivo general elaborar,

implementar y poner en marcha un sistema plataforma web pública de información de litio y salares, consolidando y poniendo a disposición dicha información para la consulta general del público. Por otra parte, el Ministerio de Minería solicitó una “Asesoría Cambio Climático en el Sector Minería”, publicada el 18 de agosto. El cual tiene como objetivo determinar un plan de acción 2023-2025 que sirva al cumplimiento de las metas establecidas en diversas políticas, estrategias y planes, tales como la NDC (Contribución Determinada a Nivel Nacional) y ECLP (Estratégica Climática de Largo Plazo), que guardan relación con cambio climático y el sector minero. Dicho plan debe contener como mínimo identificación de actividades, sus objetivos, actores claves con sus roles y responsabilidades, tiempos asociados, sistema de reportabilidad y seguimiento, y recursos necesarios. Durante el mismo mes de agosto, desde Minería se encargó la asesoría para “Diseño de estrategia de grupos de interés – Litio”, la que buscaba la generación de un relato comunicacional para la fase preparatoria del proceso de estrategia de relacionamiento, junto con desarrollar una propuesta de estrategia de generación de confianza y convocatoria, teniendo en consideración los estándares del Convenio 169 de la OIT. A inicios de septiembre, se publicó una solicitud para una “Consultoría de Hoja de Ruta para la Minería”. El objetivo del Ministerio era generar una propuesta de plan tecnológico que integre información de hojas de ruta para la minería, o ROADMAPS, y otros antecedentes que asociados con los principales desafíos de la minería. Esta propuesta debe ofrecer iniciativas de trabajo público o público-privado en cada uno de ellos, según las capacidades del Ministerio. Recientemente, la Subsecretaría del Ministerio de Minería encargó una “Asesoría sobre la Industria del Litio”, publicada el 11 de octubre. El objetivo recae en una asesoría estratégica sobre aspectos económicos, legales y de mercado de la industria del litio, que permita contar con insumos técnicos actualizados sobre el desarrollo local de la industria del litio, siguiendo los lineamientos del programa de gobierno del presidente Gabriel Boric. En virtud de lo descrito se presenta un resumen de la información en el siguiente cuadro, Tabla N° 4.1.

Tabla N°4.1 Licitaciones adjudicadas al año 2022.

Licitación	Publicación	Empresa adjudicada	Monto (CLP)
Plataforma publica de información: litio y salares	Julio 2022	Coder Hub Spa	\$39.396.000
Asesoría cambio climático en el sector minería	Agosto 2022	Julio Ovalle – Romina Cid (UTP)	\$24.700.000
Diseño de estrategia de grupos de interés – Litio	Agosto 2022	Tironi Asociados S.A	\$31.000.000
Consultoría de hoja de ruta para la minería	Septiembre 2022	Morales, Martínez y Correa Consultores Spa	\$26.668.103
Asesoría sobre la industria del Litio	Octubre 2022	En proceso de adjudicación	-

Fuente: Mercado público, Licitaciones de la subsecretaria de minería sobre el diseño de la empresa nacional del litio.

En cuanto a los impuestos fijados para esta industria, se aplica una tasa escalonada que comienza en un 6,8%, pudiendo llegar a un 40% del precio de venta del compuesto para productos con rangos de precios superiores a los 10.000 USD\$/MT. A su vez, existe un proyecto de royalty a la minería que afecta al cobre y al litio, en donde se declara que las empresas exportadoras deben pagar una “compensación” a favor del Estado, el cual corresponde a un 3% del valor nominal de los minerales extraídos. Los montos que se recurrarían, a partir de este 3%, serían destinadas obras en desarrollo hacia las comunidades donde se encuentren los yacimientos explotadores del mineral, para mitigar los distintos efectos ambientales que generan (Cavada, 2021).

Tabla N° 4.2 Royalty, de SQM y Albemarle, por la producción de Litio.

Rango de precio (LiCO3 en US\$/MT)	Tasa Comisión (%)
0 a 4.000	6,8%
Sobre 4.000 a 5.000	8,0%
Sobre 5.000 a 6.000	10,0%
Sobre 6.000 a 7.000	17,0%
Sobre 7.000 a 10.000	25,0%
Sobre 10.000	40,0%

Fuente: CORFO (2022).

Factores Económicos

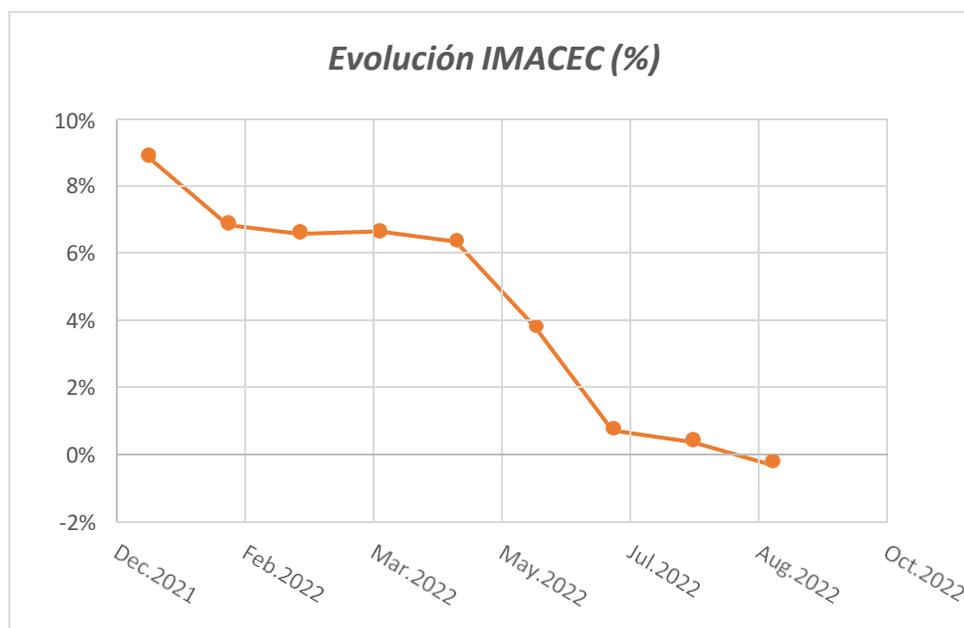
La economía chilena, se recuperó rápidamente de la pandemia gracias al aporte de políticas excepcionalmente sólidas, no obstante, parte de aquellas políticas trajeron consecuencias que incidieron en la desaceleración del crecimiento y estimularon la inflación, dando paso a que el país afronte actualmente un ciclo económico recesivo.

La fuerte aceleración del gasto interno y una mayor demanda externa de los principales socios comerciales de Chile, contribuyó significativamente con el crecimiento del PIB en 2021. En relación al escenario actual, según el IMACEC, la actividad económica se expandió en un 8,9% en enero de 2022, en contraste al mes de septiembre, el cual presentó una expansión del -0,3%, evidenciando una secuencia de desaceleración que se ha iniciado hace meses atrás (Base de datos estadísticos del Banco Central 2022), tal y como se observa en la

Figura N°4.1. De hecho, este acontecimiento se debe en cierta medida por la caída en la producción minera en un 4,5% en el segundo trimestre, resultado incidido principalmente por la extracción de cobre y compensado en parte por la minería no metálica, destacando el litio, asociado a una mayor demanda externa (Evolución de la actividad económica, segundo semestre del 2022). A su vez, el Banco Central, en su Informe de Política Monetaria de marzo 2022, proyectó un crecimiento entre 1,0% y 2,0% para el año 2022 con un rango entre -0,25% y 0,75% en 2023 (IPOM 2022). La menor proyección se explica por la elevada base de

comparación, las políticas fiscales y monetarias contractivas, el menor consumo privado y la formación bruta de capital fijo (FBCF). Asimismo, se suman los efectos de la guerra en Ucrania en el alza de los precios de la energía, los costos de transporte, materias primas y la inflación en general.

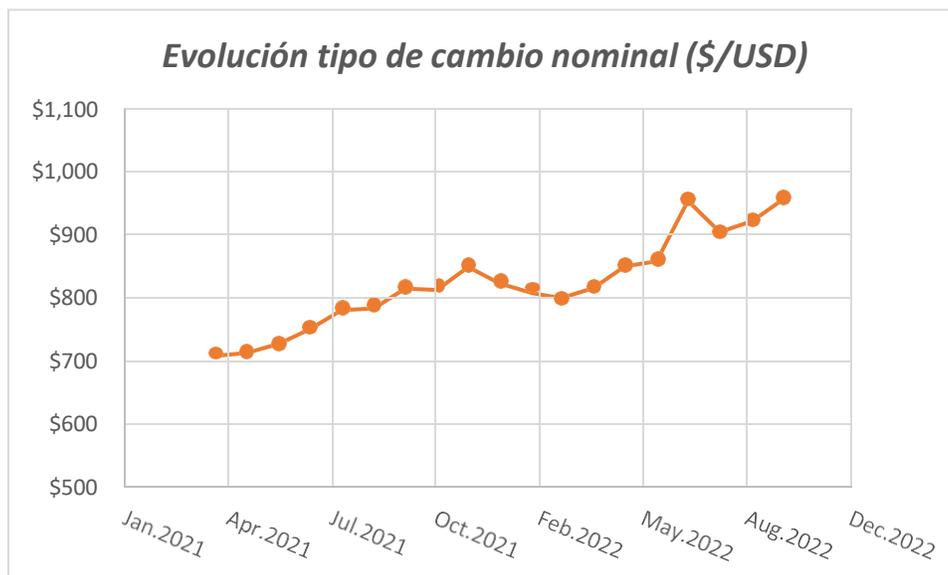
Gráfico N° 4.1 Evolución del IMACEC.



Fuente: Base de datos estadísticos del Banco Central (2022).

De acuerdo al tipo de cambio, continúa la depreciación del peso frente al dólar. En efecto, alcanzó un promedio de \$815 en abril de 2022, superando los \$708 registrados en el mismo mes en el año 2021, lo cual representa una caída nominal de 15%. En virtud de la evolución de este indicador, se ha observado un importante deterioro de la moneda nacional en estos dos últimos años, tal y como lo manifiesta la Figura N° 4.2. Pese a que el alza del dólar favorece el retorno de las exportaciones chilenas, la mayor inflación interna puede afectar el tipo de cambio real con lo que se afectaría la competitividad de las exportaciones frente a otros competidores.

Gráfico N°4.2 Evolución tipo de cambio.



Fuente: Base de datos estadísticos del Banco Central (2022).

La mayor presión del gasto vía consumo privado en conjunto con la depreciación del peso y mayores precios internacionales de los combustibles, entre otros factores, derivaron en una mayor inflación en este último periodo, sin embargo, las autoridades monetarias han actuado de forma oportuna y decisiva para contener la inflación, y el estímulo fiscal se está retirando (Estudios Económicos de la OCDE, 2022). En efecto, el IPC se situó en 10,5% en abril de 2022 y el IPOM del Banco Central (2022) proyecta que será de un 8,2%.

Este escenario recesivo está teniendo efectos sobre el empleo. Paulatinamente se ha moderado la creación de nuevos puestos de trabajo, cuyo incremento está convergiendo a un congelamiento total. El desempleo se estimó en 7,8% en el trimestre enero-marzo de 2022. En igual período, la estimación del total de ocupados creció 8,0% a doce meses.

Actualmente, el alza del costo de la energía está afectando el comercio exterior de Chile mediante un menor saldo comercial y un mayor aumento en las importaciones. En consecuencia, el saldo superavitario se redujo en un 46,6% en el período enero y abril de 2022 frente a igual período del año anterior. En dicho período, las importaciones se expandieron en un 26,8% frente a un 11,1% de las exportaciones. Las internaciones de bienes intermedios relacionados con la energía crecieron un 58,9% en que destaca el alza del gas natural gaseoso con un alza de 307,9% entre enero y abril de 2022, y el diésel con un

crecimiento de 101% en similar período. Mientras tanto, las internaciones de bienes de consumo en gasolinas aumentaron un 306%.

Por otro lado, resulta gravitante comprender el panorama económico que atraviesan los principales países que importan litio desde Chile, tales como China (55%), Corea del sur (20%) y Japón (12%) (COCHILCO, 2021). Teniendo como finalidad considerar potenciales oportunidades, o bien, amenazas que puedan proporcionar aquellos mercados a la industria del Litio.

Para China, primer socio comercial de Chile, y la segunda economía del mundo, el FMI (2022) estima un crecimiento del PIB de un 4,4% en 2022. Lo cual significa una disminución en su desempeño con relación al crecimiento en 2021 que fue de 8,1%. Por otra parte, la inflación llegó a 0,0% en el mes de marzo, alcanzando un alza en el nivel general de precios de 1,5% en 12 meses. En cuanto a los productos importados por China desde Chile, estos han aumentado en 21,9% en los primeros tres meses del 2022 en comparación a un aumento global de 10,9% en igual período. De esta manera, la participación de mercado de los productos chilenos en China se incrementó de 1,70% de las importaciones chinas en enero-marzo de 2021 a 1,87% en el mismo período del 2022, constituyéndose en el proveedor número 15 hasta marzo de 2022 (Perspectivas económicas globales y comercio exterior de Chile, 2022).

En tanto a Corea del sur, luego de un positivo cierre en 2021 dado por un crecimiento en el último trimestre de 4,1% relativo al trimestre del año anterior y de 5,0% en comparación al trimestre anterior (QoQ), el Banco de Corea estima que el crecimiento del PIB en 2022 será menor al 3%. Por otra parte, la inflación asoma como la principal preocupación de la economía surcoreana ya que se alzó sobre el 4% en marzo 2022. Se estima que la inflación de 4% se prolongue durante 2022. Las importaciones de Corea del Sur estuvieron lideradas por el sector industrial (64% del total), Al respecto, Chile mantuvo su posición como país número 25 en ser proveedor de Corea del Sur, si bien su participación aumentó levemente de 0,85% a 0,96%. Durante el primer trimestre de 2022, los envíos chilenos a Corea del Sur se expandieron un 75% siendo guiados fundamentalmente por el sector minero. Destaca

especialmente el cobre que significó un 71% del incremento total. En tanto, las importaciones crecieron un 27% en donde las compras de bienes intermedios representaron un 75% del alza.

Respecto a Japón, este exhibe perspectivas económicas positivas ya que el FMI (2022) proyecta que el PIB alcanzaría un crecimiento de 2,4% en 2022 en comparación a una expansión de 1,6% en 2021. La inflación por su lado se había mantenido en terreno negativo, en marzo de 2022 ha llegado a 1,2% en doce meses y es un 0,4% superior a la del mes anterior, estimándose que en 2022 se mantendría en terreno positivo con el objetivo de alcanzar un 2,0%. En los primeros tres meses de 2022, los productos importados desde Chile disminuyeron en 14,4%, mientras que las globales crecieron en 24,0%. De esta manera, la participación de mercado de los productos chilenos en Japón se redujo de 1,30% de las importaciones japonesas en enero-marzo de 2021 a 0,90% en el mismo período del 2022. Ello deriva en que Chile pasa de ser del proveedor número 19 el año pasado al número 25 a marzo de 2022.

Factores Sociales

Si bien el desarrollo de la industria del litio es importante para el país en términos económicos y productivos, las comunidades aledañas a las zonas de explotación han manifestado su descontento con los procesos extractivos de las firmas presentes, esto en consecuencia de los impactos negativos que tienen principalmente sobre el recurso hídrico, en donde el abastecimiento de agua es un problema constante para ellos, debido a la escasez que se genera por la sobreexplotación de sus fuentes. En el caso particular del Salar de Atacama, se ven afectadas comunidades del pueblo atacameño (conocidos como Lickanantay), como comunidades que bordean el salar, como es el caso de Peine (600 habitantes), Toconao (800 habitantes), Camar, Socaire y Talabre. Ahora, si nos centramos en el proceso productivo de evaporación, el impacto resultante, es que por cada tonelada de mineral se eliminan alrededor de dos millones de litros de agua dulce. De acuerdo al Consejo de Pueblos Atacameños, considerando la actividad minera del cobre y del litio, la extracción de agua de salmueras y de aguas dulces que alimentan al salar equivale a unos 5.000 l/s, lo que es cinco veces mayor al agua que recibe el Salar. En vista de esta situación, en 2016 la Dirección General de Aguas

declaró como agotados los ríos San Pedro y Vilama, para evitar que se sigan otorgando más permisos de uso consuntivo de sus aguas (OCMAL, 2018).

A lo que respecta a las colectividades presentes en la zona, éstas han visto interrumpidas sus actividades minoritarias en el salar, por lo que exigen mayor control del Estado, quienes solo a partir del año 2018 incluyeron en los contratos, un nivel de fiscalización ambiental y un aporte a estas comunidades como compensación. En esta línea, al alero de estrategias corporativas de responsabilidad social empresarial y de valor compartido, han emergido negociaciones entre las comunidades y las empresas para seguir explotando bajo ciertos acuerdos que transfieren regalías a los atacameños a fin de propender hacia la licencia social o comunitaria para la extracción del litio (OCMAL, 2018).

Factores Tecnológicos

El principal método empleado en Chile, como en la mayoría del mundo para la extracción de litio desde salmueras, se centra en una tecnología de procesamiento conocida como “evaporítica”, el cual consiste básicamente en un sistema de piscinas de salmuera que es sometido a evaporación por medio de energía solar y, por ende, de baja huella de carbono puesto que el recurso solar y eólico proviene de una fuente totalmente natural, sin tecnologías intermediarias. Este proceso, donde se evapora entre el 85 - 95% de la salmuera, toma un periodo entre 12 a 24 meses en hacerse efectivo, con una salmuera final de concentración entre 4-6% de litio. (ROADMAP - Estrategia tecnológica del litio en Chile, 2022)

Si bien el proceso actual de extracción de litio de la industria nacional es económicamente rentable, existen ciertas desventajas que necesitan con urgencia una solución. En el largo plazo, SQM y Albemarle, se han planteado el desafío de aumentar la recuperación de litio a través de la incorporación de nuevas tecnologías y la mejora global del proceso, tanto en la extracción en el salar como en el procesamiento en la planta. Ante ello, la tendencia tecnológica busca alcanzar procesos que apunten a una menor tasa de evaporación de salmuera, como el disminuir los tiempos de procesamiento y disponibilidad de productos de litio en el mercado. En febrero del año 2021, luego de una inversión de USD\$8,6 millones, se inició la fase de construcción del Centro de Investigación del Litio, para poder operar en

el año presente año. Donde se pondría a prueba la Tecnología de Reconocimiento Molecular (MRT), con la finalidad de evaluar la producción de litio sin extraer o evaporar agua de los salares, generando un menor impacto en el medio ambiente junto con el aprovechamiento completo del recurso explotado. Esta tecnología, permitiría la reinyección total de la salmuera a los salares con costos operativos competitivos, sin embargo, se aplicaría al Salar de Maricunga, posteriormente en Bolivia, no así en el Salar de Atacama (Cabello, 2021).

En el contexto del avance tecnológico asociada a esta industria a nivel global, existen desarrollos y estudios que aplican procesos de extracción por solventes, nanofiltración, precipitación química y adsorción y sus variantes. Este último es el que ha sido más estudiado a nivel científico y el que varias empresas de desarrollo tecnológico tienen incorporado como una operación unitaria relevante, debido a su alta eficiencia y al avance que ha tenido el desarrollo de materiales más selectivos. La mayoría de estas tecnologías en desarrollo se denominan de Extracción Directa de Litio (EDL), resaltando ventajas como una alta eficiencia de extracción de litio desde la salmuera, además de su alta selectividad. En tanto a las tecnologías actuales de extracción directa, estas poseen una eficiencia de extracción de litio que supera el 90%, valor que comparado con las eficiencias del método actual de 50% o menores, podría permitir aumentar la producción reduciendo la extracción de salmuera. En contraste, diversos estudios no han logrado respaldar en sus resultados que la salmuera procesada pueda ser retornada al salar, siendo esta la principal desventaja (Humberto Estay, 2022).

A pesar de las particularidades positivas que se atribuyen a las nuevas tecnologías, es preciso destacar que la mayoría de ellas no han sido testeadas en condiciones reales ni con salmuera del salar de atacama u otra fuente nacional, por lo que, no es posible concluir sobre la totalidad de características que las posicionaría como ventajosas frente al proceso actual, sobre todo en el plano económico. Además, es importante considerar que los modelos de explotación y procesamiento de cada salar son muy diferentes y no son replicables, esto ante las condiciones climáticas y químicas que los describen. Por lo que un modelo productivo exitoso en un salar no tiene garantizado el mismo resultado en otro. (ROADMAP - Estrategia tecnológica del litio en Chile, 2022)

Factores Ecológicos o Ambientales

La explotación y procesamiento del Litio en suelo nacional ha reflejado el peligro que este representa para el ecosistema en el que se encuentran los salares, siendo estas zonas únicas y delicadas que dan vida a especies emblemáticas como el Flamenco Andino, y a formas de vida con un altísimo valor científico como lo son las microbialitas, entre otros (OCMAL, 2018).

El problema que más destaca y preocupa actualmente de estas actividades productivas, es la explotación masiva de los recursos hídricos, precisamente en el proceso de extracción del mineral, en donde, el 95% de la salmuera extraída se evapora por medio de la energía solar y eólica, agravando la escasez de agua. A esto se le suma que, la minería de litio también absorbe cantidades considerables de agua dulce, junto con las explotaciones de cobres que suceden en sus proximidades. Todo esto, tiene un efecto directo con el deterioro del medio ambiente en el que se desarrollan las operaciones, provocando daños irreparables, siendo evidenciado con el aumento de la sequía de la zona y la disminución de la vegetación, según una investigación realizada por la Facultad de Sostenibilidad de la Universidad de Arizona (EE. UU,2019).

Con el objetivo de resguardar los ecosistemas sensibles en torno al Salar de Atacama, como son las lagunas de nidificación de flamencos, flora y fauna que rodea el núcleo del salar y también cuantificar el impacto hídrico de la extracción de salmuera, SQM realiza un monitoreo ambiental tanto desde el punto de vista hídrico en relación a la vegetación, denominado Plan de Seguimiento Ambiental (PSA), enmarcado en la Resolución de Calificación 226/2006. Por su parte Albemarle presenta en la Resolución de Calificación Ambiental 021/2016 su plan de monitoreo ambiental y plan de alerta temprana de los recursos hídricos, el cual considera variables ambientales hidro-geológicas, hidrológicas, flora y fauna, entre otras (ROADMAP - Estrategia tecnológica del litio en Chile, 2022).

Factores Legales

EL litio en Chile posee de una calificación legal de sustancia estratégica, es decir, está vinculada al interés nacional. Esto se debe a la disponibilidad del recurso presente en el país y a sus potencialidades de aplicación tanto en la fusión nuclear como en usos comunes, principalmente vinculados al almacenamiento de energía. Es por esto que el litio cuenta con un tratamiento jurídico específico que lo diferencia de cualquier otro recurso natural del país. La Constitución Política de la República (1980) estableció en su Art. 19 numeral 24: “El Estado tiene el dominio absoluto, exclusivo, inalienable e imprescriptible de todas las minas, comprendiéndose de éstas las covaderas, las arenas metalíferas, los salares, los depósitos de carbón e hidrocarburos y las demás sustancias fósiles, con excepción de las arcillas superficiales. Los predios superficiales estarán sujetos a las obligaciones y limitaciones que la ley señale para facilitar la explotación, exploración y el beneficio de dichas minas”. A su vez, el litio, corresponde a un mineral no concesible (LOC Concesiones Mineras). Sin embargo, su explotación es libre para los titulares de las concesiones amparadas por el Código de Minería del año 1932, y vigentes al año 1979.

El DL N°2.886 de 1979 reservó el litio al Estado. Pero para las concesiones posteriores a 1979, son aplicables los Art. 19 N°24 de la CPR y Art.8 del Código de Minería (1983), los cuales hacen mención que la exploración y explotación de los yacimientos que contengan sustancias no susceptibles de concesión, podrán ejecutarse directamente por el Estado o sus empresas, o por medio de concesiones administrativas o de contratos especiales de operación, con los requisitos , y las condiciones , que el Presidente de la Republica fije, para cada caso, por decreto supremo. Permitiendo la explotación del litio de las siguientes formas:

- Por el Estado o por sus empresas.
- Por concesiones administrativas.
- Por contratos especiales de operación (CEOL).

Sumado a lo anterior, el litio, está declarado como material de interés nuclear por su relevancia funcional en reactores de fusión nuclear, en las mismas condiciones de otros

elementos o compuestos que sirvan para uso específico en instalaciones nucleares, tales como el uranio y el torio (Reglamento de términos nucleares, Decr. N°450 1975 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción). Por la condición anterior, el litio está reservado para el Estado, es decir, sólo puede ser comercializado por o con la autorización de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) y acopiado por la misma autoridad en la cantidad que necesitara o conviniera al país según ella determine. En virtud de ello, el litio no puede ser objeto de ningún acto jurídico sin participación directa de la CCHEN o sin su autorización previa (D.L. N° 1.557 – 1976 y D.L. N° 2.886 - 1979). Para el caso de concesiones que contengan sustancias concesibles y no concesibles (litio), el titular deberá comunicar la existencia de estas al Estado para que este determine, a través de la CCHEN, si exige o no la separación de las sustancias (Código de Minería 1983).

4.1.1.2 Modelo de las cinco Fuerzas de Porter

Amenazas de nuevos entrantes

Para poder analizar qué tan fuerte o débil resultan ser las barreras de entradas, se debe hondar en las más importantes para esta industria.

Políticas Gubernamentales: En lo que barreras de entrada respecta, las políticas gubernamentales de Chile son las adquieren una mayor relevancia en virtud de la contingencia actual. En efecto, para poder acceder a explotar el Litio, se requiere de contratos especiales, junto con la autorización por la Comisión Chilena de Energía nuclear. Sin embargo, como la política asociada a este mineral está en proceso, desde el gobierno han optado por congelar las licitaciones hasta establecer las bases de la misma. Esto ha ocasionado incertidumbre en la industria e inversionistas hasta la fecha (BNC, 2018).

Inversión de Capital: El proceso productivo empleado de este mineral no metálico requiere que las salmueras se depositen en piscinas de alta envergadura, significado un costo de capital elevado para aquellas empresas emergentes (CAPEX). Por otro lado, se debe de considerar que se presenta un periodo prolongado de puesta en marcha del negocio para una empresa pionera en la industria, reflejando un alto nivel de riesgo al momento de ingresar a dicho

sector, como también de un gran desembolso que no cualquiera es capaz de sustentar (Juan Ignacio Guzmán, 2022).

Know-How: Es de amplio conocimiento que las empresas privadas poseen un mayor conocimiento de la industria, a comparación del Estado. Esto se ve reflejado en la expedición que posee las empresas de SQM y Albemarle, en lo que explotación respecta, adquiriendo socios comerciales en el extranjero, ubicados principal mente en Asia, contando con clientes en más de 42 países. Resulta complejo, en primera instancia, llegar a su nivel de competición a nivel mundial. A lo anterior, se le suma las asociaciones que están haciendo estas empresas con otras de la nación, como es el ejemplo de SQM, quien en la actualidad está en negociaciones con CODELCO para poder explotar en conjunto el Salar de Maricunga.

Ventajas de los costos: Las firmas SQM y Albemarle posee una ventaja absoluta en relación a costos, debido a que son las únicas dos empresas que explotan en el salar de Atacama y que, a su vez, posee un proceso producto de bajo costo al usar la radiación solar para la evaporación de la salmuera. Esto significa, que las empresas interesadas en introducirse en esta industria, deberán realizar sus operaciones en otros salares con potencial de litio del país, los cuales requieren de un proceso tecnológico más avanzado, teniendo como consecuencia un costo de producción mayor a los ya insertos en la industria (Informes Financiero SQM y Albemarle, 2021).

Considerando cada punto expuesto, se considera que las **barreras de entradas son altas**, siendo difícil competir actualmente en la industria del litio en Chile.

Amenazas de los sustitutos

Hoy en día, todos los automóviles eléctricos e híbridos enchufables cuentan con una batería de iones de Litio. Pero la escasez de esta materia prima, en la actualidad, pone en manifiesto la fragilidad de las cadenas de producción que dependen de materiales raros y, por lo tanto, caros. Por no mencionar la dependencia que tiene la industria del litio. Es ahí, donde salen a la luz diversas fuentes de energía que podrían sustituir a las de ion litio, como es el caso de las baterías de níquel-cadmio, níquel-hidruro metálico y plomo-ácido (Vergara, s.f), aunque estas no cuentan con la misma eficiencia, pueden ser utilizadas en vehículos con una menor autonomía. A su vez, las baterías de iones de sodio se han convertido en la gran alternativa

al litio, donde una empresa americana (Natron) comenzará a fabricarlas en masa el año que viene.

Por otra parte, el Hidrógeno verde, al igual que el litio, no solo es una alternativa eficiente para el reemplazo de los combustibles fósiles por su alta densidad energética, sino que también, este puede superar en 120 veces a las baterías de litio (Fundación Chile, FCH). Sin embargo, los costos de inversión inicial asociados, cuestan diez veces más que una estación de carga de vehículos eléctricos, existiendo, además, una dificultad importante cuando se consideran las formas de realizar las exportaciones de este tipo de hidrógeno. Pese a ello, existen varias inversiones en Chile, fomentando este tipo de industria con la finalidad de combatir el cambio climático.

Es por esto que se considera una **fuerza media-baja** en el corto plazo, debido a que sí existen productos que pueden sustituir al litio, pero estos no generan la misma autonomía que el litio, o no cuentan con la misma eficiencia, o bien no han sido implementados aún, sin considerar los costos asociados a ellas. En términos generales, ningún producto sustituto presenta características similares a las del Litio.

Poder de negociación de los proveedores

Los principales proveedores involucrados en la producción de salmueras son las empresas distribuidoras y productoras de reactivos, ya que, estos representan un 54% de los costos de la producción de carbonato de litio (Estudios Financieros SQM y Albemarle, 2021).

Como se puede evidenciar en las memorias anuales de la empresa SQM, ningún proveedor representa una concentración en forma individual de un 10% de los costos de ventas. Por lo que se considera una **fuerza baja**.

Poder de negociación de los clientes

El continente asiático es el primer consumidor y comprador del litio, en donde China se adjudica cerca del 55% del consumo, seguido por Corea del Sur con el 20% de consumo y, por último, Japón, quien consume el 12%; siendo utilizado para la producción de baterías ion-litio. Es decir, entre los tres países, se alcanzan un consumo de casi 88%, traduciendo una serie de productos fabricados por una industria altamente tecnologizada que provee productos basados en Litio (COCHILCO, 2021).

Si bien la diferenciación de los compuestos de litio es bastante baja en relación a la estructura de mercado que operan los productores de materias primas, esto, a su vez, genera que esta fuerza sea aún más importante debido al **alto poder de negociación de los clientes o compradores.**

Rivalidad entre los competidores existentes

En la actualidad, SQM y Albemarle son las mayores, y únicas, empresas productoras de Litio en Chile. La competencia que enfrentan se ubica en un nivel estratégico, debido a que la industria está en vía de desarrollo y expansión.

Al sólo encontrarse estas dos empresas operando en suelo nacional, ha conllevado a que manejen información importante del sector económico, vislumbrando lo atractivo que resulta ser este negocio en el futuro. A partir de ello, estas organizaciones han tomado la iniciativa de participar en las licitaciones asociadas a otras reservas, tal y como ocurrió en octubre del 2021, donde buscaban adjudicar contratos operativos para explorar y producir 400,000 toneladas de litio metálico para baterías (Ministerio de minería, 2021).

El ritmo de crecimiento de la industria se encuentra en una etapa de estancamiento en la actualidad, ocasionado en principio por el accionar del gobierno de Gabriel Boric, el cual se encuentra trabajando en la creación de una política y empresa nacional del Litio para Chile (Cuenta pública, Julio 2022).

Las barreras de salida que presenta este sector son altas, debido a que el actual proceso productivo impide liquidar equipos, maquinas, etc., entre un periodo de 1 a 2 años, sumado a las grandes inversiones que se tienen que desembolsar para poder participar de esta industria.

Por otro lado, el carbonato de litio no posee una estrategia de diferenciación, por lo que la intensidad de competencia se reduce en aspectos de marketing. Solo se consideran estrategias de costos.

4.1.2 Análisis Interno

La cadena de valor del litio en Chile comprende la producción de una gama de compuestos de litio, donde el principal producto es el carbonato de litio y, en menor medida, hidróxido de litio y cloruro de litio. Estos tres productos corresponden a los principales compuestos de litio vendidos en el mercado internacional. Ahora bien, en virtud de indagar sobre las debilidades y fortalezas que posee la industria del litio en territorio nacional, se profundizará en la cadena de valor del carbonato de litio, siendo este el que cobra mayor importancia actualmente. Para ello, se abordarán los principales eslabones, como lo es la exploración, extracción y exportación de esta materia prima.

La etapa previa de todo proyecto minero está relacionada con la exploración, en la cual se recopilan datos relevantes sobre el yacimiento. A menudo son pequeñas empresas extranjeras las que se encargan de ello, siendo los geólogos quienes analizan el proyecto en detalle. Una vez que el yacimiento haya sido considerado apto para la extracción de recursos, el proyecto suele ser vendido a empresas de gran tamaño. Todo este proceso es bastante extenso y puede durar entre dos y tres años (ECO MINING CONCEPTS, 2021). Las reservas de Chile se estiman en unos 10,5 millones de toneladas de litio contenido (equivalente a 55,9 millones de t LCE), colocando al país en primer lugar mundial en este tema. De estas, alrededor de 10 millones se encuentran en el área de propiedad minera de Corfo en el Salar de Atacama (1.638 km²), es decir, casi la totalidad. Por otro lado, varios salares han sido estudiados y explorados por Corfo, Sernageomin y empresas privadas, sin embargo, hay consenso en que el conocimiento es más bien acotado acerca del real potencial de litio contenido en los salares pre-andinos y andinos (ROADMAP - Estrategia tecnológica del litio en Chile, 2022).

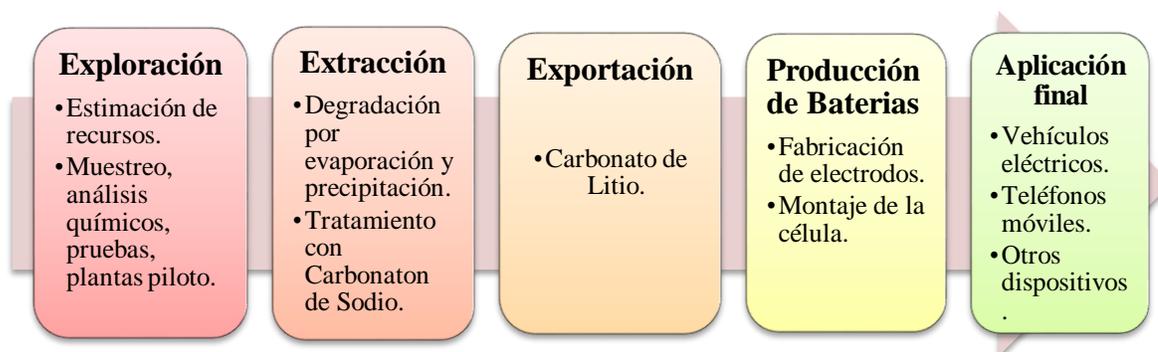
El proceso de extracción y explotación del recurso que se lleva a cabo en Chile son ejecutadas por las empresas SQM (Chile) y Albemarle (EEUU), las cuales tienen contratos vigentes con Corfo, el dueño de las pertenencias mineras. La tecnología de procesamiento que utilizan se conoce como evaporítica, y tal como su nombre lo indica, la salmuera es evaporada en las piscinas dispuestas por estas operaciones, empleando energía solar y eólica. Dentro de sus principales ventajas se encuentra; una baja huella de carbono en el ambiente; la tasa de evaporación depende de condiciones meteorológicas particulares, siendo Chile el que presenta mejores escenarios-, por ejemplo, se estiman tasas de evaporación en el Salar de

Atacama de 3.200 mm/año, comparado con los 2.300 mm/año en Salar del Hombre Muerto, ubicado en Argentina. Por otro lado, las desventajas asociadas a este método conllevan a que; se evapore cerca de un 90% de la salmuera sin un retorno del recurso hídrico; el proceso demanda un período entre 12 a 24 meses en hacerse efectivo; la eficiencia del proceso depende fuertemente de la composición de la salmuera, en donde los iones de magnesio son una de las mayores complicaciones, hasta el punto de que, si la concentración es muy elevada, el proceso puede resultar económicamente inviable (ROADMAP - Estrategia tecnológica del litio en Chile, 2022).

Chile es el primer exportador mundial de carbonato de litio, siendo sus principales destinos China, Corea del Sur y Japón. En contraste con el litio extraído de roca dura (p.ej. en Australia), el litio de las salmueras en forma de carbonato de litio puede ser utilizado directamente en los mercados finales (COCHILCO, 2021). Las empresas productoras de litio en Chile, a través del procesamiento de las salmueras y su conversión al carbonato de litio, añaden valor al mineral, entregando un producto final, ya sea de grado técnico o batería, que es vendido y utilizado directamente por sus clientes según sus exigencias.

La Figura N° 4.3, resume de manera simplificada los nodos más importantes de la cadena de valor del litio de Chile, y su importancia en la cadena de suministro asociada a la fabricación de baterías ion-litio para diversos dispositivos electrónicos, en donde, en mayor porcentaje, se encuentran los vehículos eléctricos (Eco Mining Concepts, 2021):

Figura N° 4.1 Cadena de valor del Litio en Chile.



Fuente: Eco Mining Concepts (2021)

4.1.3 Análisis FODA

Tabla N°4.3 Fortalezas y debilidades de la industria del Litio en Chile.

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<p><u>Posicionamiento de mercado actual</u></p> <p>Hoy Chile es el principal exportador de carbonato de litio en el mercado internacional, por lo que su producción tiene gran relevancia en la cadena de suministro de las empresas tecnológicas.</p>	<p><u>Producto ofrecido sin valor agregado</u></p> <p>Actualmente el producto ofrecido es clasificado como materia prima, por lo que la cadena de valor no refleja un valor agregado. Por otro lado, la producción de los compuestos del litio se centra en el carbonato de litio, relegando los otros productos a un segundo plano.</p>
<p><u>Costos de producción óptimos</u></p> <p>Los costos de producción resultan ser menores a otros tipos de procesos. Esto al utilizar recursos de fuentes naturales, como la radiación solar y eólica, para el proceso de evaporación de la salmuera.</p>	<p><u>Tecnología ineficiente</u></p> <p>El proceso para la obtención del producto final demanda un periodo entre 12 a 24 meses.</p>
<p><u>Baja huella de carbono</u></p> <p>El procesamiento actual se caracteriza por emitir bajos niveles de emisión de carbono a la atmosfera.</p>	<p><u>Operación no sustentable</u></p> <p>La evaporación por radiación solar, involucra que el agua de la salmuera se evapore, no pudiéndose recuperar. Agravando la escasez hídrica de la zona.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.4 Oportunidades y amenazas de la industria del Litio en Chile.

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<p><u>Potencial productivo del litio en Chile</u></p> <p>El nivel de reservas en suelo nacional, sumado a las condiciones meteorológicas y características geográficas, contribuyen a una alta atractividad de este sector en la actualidad, considerando la importancia que adquiere el Litio hoy en día.</p> <p>A esto se le suma el interés por parte del sector privado y del estado en participar en la industria del litio.</p>	<p><u>Competencia en el mercado internacional</u></p> <p>Se hace presente un aumento de la capacidad productiva de los otros países.</p> <p>Incorporación de tecnologías e innovación de la industria letífero por parte de varios países.</p> <p>Nuevas asociaciones existentes entre productores y consumidores por partes de países que están inserto en la industria.</p>
<p><u>Tendencias del mercado</u></p> <p>La demanda asociada a productos que están compuestos por litio ha ido en alza, viéndose reflejado en el ámbito tecnológico. Las baterías de litio son las que cobran mayor importancia.</p> <p>Por otro lado, también se ha evidenciado un incremento del consumo de litio en energía eólica. Dicho comportamiento podría inducir a un alza en los precios.</p>	<p><u>Desconformidad frente a la industria</u></p> <p>La postura que han adoptado las comunidades aledañas y las entidades ambientales en relación a las operaciones del litio son de rechazo. Esto ante el daño originado al ecosistema, principalmente al recurso hídrico.</p>
<p><u>Estabilidad económica de los principales socios comerciales</u></p> <p>China, Japón y Corea del Sur, quienes son los principales socios comerciales de Chile en relación a la demanda de los compuestos del litio, han reflejado estabilidad en el escenario económico, lo que proporciona confianza y optimismo en la demanda futura de estos productos.</p>	<p><u>Barreras de entrada altas</u></p> <p>Chile no cuenta con una política gubernamental sobre el litio actualmente, lo que conlleva a mayor incertidumbre y un estancamiento del desarrollo del sector (nula competencia). Esto a la vez deja sin efecto las licitaciones, por lo que el ingreso de nuevas empresas al sector, está descartado hasta que regularice la situación.</p>

<p style="text-align: center;"><u>Fuerza media-baja de sustitutos</u></p> <p>Parte de los sustitutos presentes en el mercado se encuentran en vía de desarrollo, por lo que aún no se comprueba su viabilidad frente al litio. Por otro lado, los sustitutos que ya operan, no tienen la misma eficiencia. Esto da paso a que el Litio se consolide en el mercado como la primera opción.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Economía en ciclo recesivo</u></p> <p>Chile afronta un ciclo recesivo, presentándose un escenario poco optimista en términos de liquidez, inversión, I+D, etc. Afectando en principio al desarrollo de la industria y sus operaciones. A esto se le suma la volatilidad e incertidumbre de la economía mundial.</p>
<p style="text-align: center;"><u>Desarrollo de nuevas tecnologías</u></p> <p>El desarrollo de nuevas tecnologías a nivel científico y empresarial, es un hito importante del que se espera mucho. Esto ante la necesidad de un proceso productivo más eficiente, eficaz y sustentable.</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el FODA, se procede a generar una matriz de cruzamiento (Anexo 1) con la finalidad de plantear estrategias que ayuden al crecimiento y posicionamiento de la industria del Litio

Fortalezas y Amenazas (FA): ESTRATEGIA LIDERAZGO EN COSTOS

El posicionamiento de mercado que caracteriza la industria nacional del litio actualmente es una ventaja por sobre la competencia, en términos de preferencia por parte de los consumidores. Sin embargo, se hace indispensable implementar mejoras en el proceso productivo actual, en función de aumentar el nivel de producción en términos de eficiencia y sostenibilidad, y así mantener una competencia activa en el mercado internacional. Si bien es cierto que hoy Chile es uno de los principales exportadores de carbonato de litio, el desarrollo que ha manifestado la competencia evidencia un progreso precario de la industria del litio en el país.

El manejar costos de producción bajos contribuye a que se cuente con mayores recursos monetarios (liquidez), esto en función de sostener un aumento potencial en los egresos ante un escenario económico recesivo.

✚ **Debilidades y Amenazas (DA): ESTRATEGIA DE DIVERSIFICACIÓN**

Resulta relevante, desarrollar estudios, o bien continuar con ellos, para determinar la factibilidad de seguir operando bajo una cadena de valor que proporciona un bien sin valor agregado. Para el caso asociado las actividades productivas, es importante buscar diversificar la producción de los compuestos del litio y no solo centrarse en el carbonato de litio como producto estelar, ya que así se podrá disponer de mayor participación en aquellos mercados de los compuestos que han sido relegados, y que sin duda tienen una gran relevancia en la cadena de suministro de los consumidores.

En síntesis, al contar con una mayor gama de productos desarrollados, en función de las necesidades, de los clientes actuales y futuras, aumentará la fuerza de mercado. Razón que permitirá eventualmente a las empresas chilenas reforzar su competitividad, al generar economías de alcances.

✚ **Fortaleza y Oportunidades (FO): ALIANZAS ESTRATÉGICAS**

El posicionamiento de mercado actual, de la industria del litio en Chile, es uno de los pilares esenciales para aprovechar el potencial que posee este mineral en suelo nacional, considerando las condiciones meteorológicas, geográficas y el nivel de reservas que cuenta el país para su explotación. Una vez que el desarrollo y crecimiento de la industria destaque, existe una alta probabilidad que el país se consolide en el mercado internacional como el principal proveedor de productos asociados al Litio.

Es por esta razón, que una alianza público-privada es fundamental para el desarrollo de esta industria en ascenso, aprovechando los recursos presentes en el país, conllevando a un aumento de la producción, acortando la brecha entre oferta y demanda insatisfecha.

Un ejemplo de expuesto, sería la situación actual de CODELCO, quien sólo al tener una parte del Salar de Maricunga autorizada para explotar Litio, no puede llevar a cabo sus operaciones al no ser un proyecto atractivo en términos de cantidad de recursos que existen en el área autorizada. “Si se tuviera una alianza entre el Estado y las empresas productoras, podríamos estar aprovechando las oportunidades que mercado del Litio presenta en la actualidad” (Juan Ignacio Guzmán, 2022- Anexo 3).

✚ **Debilidades y Oportunidades (DO): ESTRATEGIA TECNOLÓGICA**

El implementar tecnología óptima al proceso productivo que lo caracteriza, será clave para aprovechar las oportunidades que entrega las tendencias del mercado, como también, el aprovechar eficientemente los recursos utilizados en las actividades productivas. En términos generales, la adopción tecnológica proporciona un sinfín de beneficios, sin embargo, se debe evaluar cuidadosamente su factibilidad en las condiciones que se espera operar.

Se espera que la tecnología adoptada logre contribuir en principio a una operación sostenible con el ecosistema, ya que este punto resulta ser importantísimo en el cómo es vista la industria, y en efecto, es un factor a considerar a la hora de adjudicar negocios, acuerdos, etc.

4.2 Análisis de la oferta nacional

Como se expuso en el punto 2.7.1 del presente informe, Chile se posiciona como segundo mayor productor de Litio a nivel mundial, adjudicándose el 32% de la producción mundial. Si bien Australia ha tomado la delantera, Chile ha evidenciado un aumento considerable, al paso de los años, relacionada a la producción de Carbonato de Litio. Lo anteriormente señalad se expone en la siguiente figura, Figura N° 4.4.

Gráfico N° 4.3 Producción nacional de LCE (Carbonato de Litio Equivalente).



Fuente: Ministerio de minería (2022).

Los datos proporcionados, por la Figura N° 4.4, corresponden a las producciones realizadas por dos empresas en específicas, SQM y Albermarle, las cuales, al año 2021, se adjudicaron la producción de 108,4 (toneladas métricas) y 41.220 (toneladas), de Carbonado de Litio, respectivamente. Destacando, que estos niveles de producción son exclusivas del Salar de Atacama, vía Arrendamiento de Concesiones (previas a 1979) de la minería metálica, las cuales realiza CORFO a ambas empresas (Ministerio de minería, 2022).

A continuación, se analiza a detalle las dos principales empresas oferentes del país.

4.2.1 SQM

La Sociedad Química y Minera (SQM), corresponde a una compañía global, con más de 40 años de experiencia, que, desde el norte de Chile, está presente en industrias estratégicas para el desarrollo sostenible, tales como: salud, alimentación, tecnología y energías limpias que mueven al mundo.

Cuenta con 5 líneas de negocios: Nutrición vegetal de especialidad, Yodo, Litio, Potasio y Sales Solares; producidas a partir del Caliche y Salmueras, localizados en las regiones de Antofagasta y Tarapacá. Estos productos le han entregado a la empresa una sólida posición económica y financiera, gracias a las exportaciones realizadas principalmente al continente asiático, con el 86%, al año 2021 (Memoria 2021, SQM).

SQM, se destaca por ser uno de los principales productores de Carbonato de Litio a nivel mundial. Con operaciones en las cercanías de Antofagasta, mediante las instalaciones de la Planta Química de Litio Carmen, quien cuenta con una capacidad productiva de 120.000 toneladas métricas por año.

La estrategia presentada por la empresa, en primer lugar, corresponde a la asignación de las ventas de carbonato e hidróxido de litio de manera estratégica, junto con fomentar el crecimiento de la demanda y desarrollar nuevos usos para el litio. A su vez, la compañía persigue, selectivamente, oportunidades en el negocio de los derivados del litio creando nuevos compuestos, reduciendo los costos de producción a través de procesos mejorados y mayor productividad para así competir de manera más efectiva. Consolidándose como una empresa líder en producción de este mineral.

A continuación, en la Tabla N° 4.5, se detalla la evolución que han tenido las cinco líneas de productos de la empresa SQM, desde el año 2019 al 2021, en relación al porcentaje de ventas que significa para la compañía cada una de ellas.

Tabla N° 4.5 Desglose porcentual de los ingresos para los años 2019, 2020 y 2021, de acuerdo con las líneas de productos de SQM.

Ítem\Año	2019	2020	2021
Nutrición Vegetal de especialidad	37%	39%	32%
Yodo y derivados	19%	18%	15%
Litio y derivados	26%	21%	33%
Potasio	11%	12%	15%
Químicos industriales	5%	9%	5%
Otros	2%	2%	1%

Fuente: Memoria SQM (2021).

Como se puede apreciar en la tabla anteriormente expuesta, Tabla N°4.5, el Litio ha tomado cada vez más relevancia en la compañía. Pasando de ser el segundo producto con más ventas el 2019, a ser el producto que mayores ingresos le generó a la compañía el 2021. Situación que se mantiene en lo que va del 2022, debido al aumento que este mineral ha presentado en los que va del presente año.

En la tabla que se presenta a continuación, Tabla N° 4.6, se desglosa los volúmenes e ingresos por ventar, a partir del año 2019, relacionadas con productos de Litio y sus respectivos derivados.

Tabla N° 4.6 Valores totales e ingresos, de SQM, relacionados al Litio y derivados.

Ítem\Año	2019	2020	2021
Volumen de ventas (Miles de toneladas métricas)	45,1	64,4	101,1
Ingresos (Millones de US\$)	505,7	383,44	936,1

Fuente: Memoria SQM (2021).

En la tabla expuesta, se evidencia como los ingresos por venta de Litio totalizaron US\$936,1, durante los doce meses finalizados el 31 de diciembre del 2021. Registrando un considerable aumento del 144,2% en comparación a los US\$383,4 millones registrados el año 2021. Representando el 32,7 % de los ingresos totales de la compañía, consolidándose como uno de los productores más grandes del mundo de Carbonato e Hidróxido de Litio. Esto tiene relación directa con los volúmenes de ventas registrados en los segmentos del Litio y su línea de negocio de derivados. En donde, el 2021, llegaron a la cantidad de 101.000 toneladas vendidas, el cual representa un aumento de, aproximadamente, 50% con respecto al año anterior.

Adicionalmente, según datos recabados por la memoria anual de SQM, los precios promedio en la línea de negocio del Litio, y derivados, alcanzaron aproximadamente los US\$9.300, visualizándose un aumento del 56,1% en comparación al 2020.

En la actualidad, en lo que va del 2022, los ingresos por litio y derivados han alcanzado los US\$ 5.627,8 millones durante los 9 meses del 2022 (Informe Trimestral 2022, SQM). Representando un aumento de 1.064% en comparación con los años anteriores. A su vez, durante el tercer trimestre del 2022, los volúmenes de ventas superaron las 41.000 toneladas métricas, reflejando un aumento de casi un 22% en comparación con el segundo trimestre del mismo año, siendo el registro más alto jamás reportado por SQM. Representado aproximadamente un 77% del margen bruto consolidado por la empresa, en lo que va del 2022, siendo muy superior al 33% registrado en todo el año del 2021.

En las siguientes tablas que se presentan a continuación, Tabla N° 4.7 y Tabla N° 4.8, se evidencia lo anteriormente expuesto.

Tabla N° 4.7 Volúmenes de ventas e ingresos por Litio y derivados, relacionados con los primeros nueve meses del año respectivo.

Ítem\ Año	9M 2021	9M 2022
Litio y derivados (Mton)	70,0	113,0
Ingresos por Litio y derivados (MMUS\$)	483,4	5.627,8

Fuente: Informe Trimestral 2022, SQM.

Nota: Primeros nueve meses corresponde a los meses de enero, febrero, marzo, abril mayo, junio, julio, agosto y septiembre, del año analizado.

Tabla N° 4.8. Volúmenes de ventas e ingresos por Litio y Derivados, relacionados con eltercer trimestre del 2022 (julio, agosto y septiembre).

Ítem\ Año	3T 2021	3T 2022
Litio y derivados (Mton)	22,0	41,6
Ingresos por Litio y derivados (MMUS\$)	185,2	2.334,9

Fuente: Informe Trimestral 2022, SQM.

Nota: El tercer trimestre corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre, del año analizado.

Proceso productivo

La obtención del Litio tiene lugar, en una primera instancia, en el Salar de Atacama. En este lugar, las salmueras son bombeadas a profundidades entre 15 y 150 metros bajo la superficie, a través de una red de pozos, que se encuentran distribuidos en el área autorizada de explotación, y que contienen concentraciones relativamente altas de potasio, litio y sulfato. La solución es trasladada, por canaletas, a pozas de evaporación solar. Esta radiación solar, junto con el efecto del viento sobre la salmuera, permite la evaporación y concentración de las sales, que van pasando de poza en poza a través de un sistema de bombeo, hasta obtener una solución a 5-6% de concentración de Litio. Proceso que dura alrededor de 1 año.

La solución concentrada de cloruro de litio, es transportada por camión aljibe a una planta productiva, localizada cerca de Antofagasta, aproximadamente a 190 kilómetros al oeste del Salar de Atacama. En la Planta Química de Litio Carmen, la solución es purificada y tratada con carbonato de sodio para producir carbonato de litio, el cual es entonces es filtrado, lavado, secado y compactado, si es necesario. Para finalmente ser envasado para su embarque y posterior comercialización.

En el proceso, parte del carbonato de litio, se hace reaccionar con una solución de cal para producir salmuera de hidróxido de litio y sal de carbonato de calcio. Esta última es removida

del proceso mediante filtración y la salmuera de hidróxido de litio es almacenada en estanques, para pasar a un proceso de evaporación en un evaporador de múltiples efectos. Cristalizándose, para producir el hidróxido de litio, que luego se seca y empaqueta para despacharse a los clientes. En la siguiente figura, Figura N° 4.5, se expone un diagrama resumiendo lo anteriormente expuesto.

Figura N° 4.2 Proceso productivo del Carbonato e Hidróxido de Litio de SQM.



Fuente: Página oficial SQM.

4.2.2 **ALBEMARLE**

Albemarle, corresponde a una empresa estadounidense, química de especialidad, con presencia en Chile por más de 37 años. Fue constituida bajo el nombre de Sociedad Chilena de Litio Ltda., en 1980, la cual se modificó a Albemarle Ltda., en el año 2017.

Esta compañía, es una de las mayores productoras del litio en el mundo, la cual ofrece 5 tipos de productos: Carbonato de Litio en grado técnico, Carbonato de Litio en grado batería, Cloruro de Litio y Cloruro de Potasio. Estos se obtienen en la Planta Salar de Atacama, ubicada en el corazón del desierto de Atacama, y la Planta Química La Negra, a 27 kilómetros de la ciudad de Antofagasta. En esta última, se procesa el litio, dándole valor agregado para los requerimientos de cada industria, en donde se generan más de 100 especificaciones distintas que aseguran la más alta calidad.

Albemarle, además, produce derivados del Litio en los Estados Unidos, Alemania, Taiwán y China, alcanzando una participación de mercado, de químicos de Litio, aproximada del 19%. Sin contar que, además, posee un 49% de la empresa australiana Talison Lithium Pty Ltd. (“Talison”), la mayor empresa productora de mineral de litio concentrado del mundo, ubicada en el oeste de Australia (Página oficial de Albemarle).

En lo que a Chile respecta, las exportaciones, relacionadas con el Litio, se concentran en el continente asiático, con el 48%, seguido por Norteamérica, con el 26%, y por EMEA, con el 24%, al año 2021 (Sustainability Report Update, Albemarle, 2021).

Los ingresos, proporcionados por la venta de Carbonato de Litio, equivale a la suma de 306.826 (MUS\$), correspondiente a la venta de 41.220 (toneladas métricas) del mineral. Creciendo en un 26 % aproximadamente, en relación al año anterior, en el cual la empresa se adjudicó un ingreso de 242.686 (MUS\$).

En la el siguiente cuadro resumen, Tabla N° 4.9, se detallan los ingresos de la sociedad sobre la base de la venta de sales y sus derivados, extraídos en el Salar de Atacama.

Tabla N° 4.9 Composición de los ingresos por ventas de Albemarle.

Ítem\ Año	2020	2021
Ingresos por venta de Carbonato de Litio (MUS\$)	242.686	306.826
Ingresos por venta de cloruro de potasio (MUS\$)	17.347	19.715
Ingresos por venta de otras sales (MUS\$)	7.347	2.205
Ingresos por arriendo y servicios (MUS\$)	14.143	14.875
Totales (MUS\$)	281.523	343.621

Fuente: Estados Financieros Albemarle (2021).

Como se puede apreciar, en lo expuesto anteriormente, el Carbonato de Litio predomina como producto principal de la empresa, generando el 89%, aproximadamente, de los ingresos ordinarios de la sociedad. Visualizando un aumento el 2021 en las ventas de esta materia prima, en relación al año anterior. Situación se podría repetir al final el año 2022, incluso en mayor porcentaje, esto en base a los enormes aportes de CORFO por parte de la organización, a causa de los altos precios reflejado en el presente año (La Tercera, 2022).

Ante la situación planteada anteriormente, el Country Manager de Albemarle, Ignacio Mehech, señala que el trimestre del presente año (2022) han pagado más royalty que todo el año pasado, dado que solamente en el primer trimestre se han pagado más US\$ 200 millones, casi dos veces y media más alta en comparación al año anterior, esto en consecuencia de los altos precios que han favorecido a estos aportes.

Proceso productivo

El proceso productivo, comienza con el tratamiento de la salmuera natural que se obtiene por bombeo desde el núcleo del Salar de Atacama y se dispone en pozas al aire libre, que se someten a la intensa energía solar del desierto de Atacama. Gracias a la evaporación que produce el sol, la salmuera se va concentrando y se traslada entre las distintas pozas hasta alcanzar un 6% de litio en su contenido.

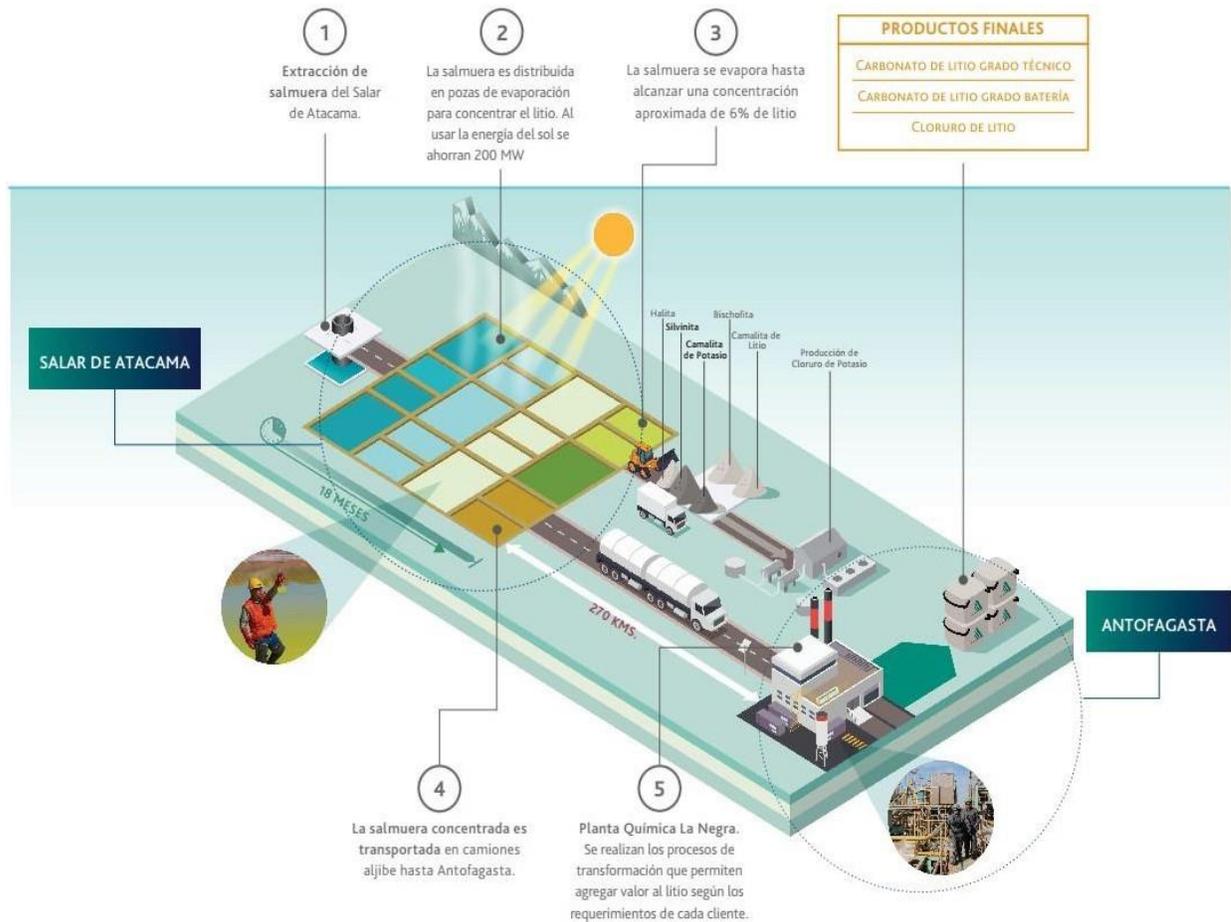
La salmuera concentrada es transportada en camiones aljibe hasta la Planta Química La Negra en Antofagasta, donde se realiza un proceso de purificación antes de su conversión química para producir cloruro de litio y carbonato de litio grado técnico y grado batería.

Cabe destacar que, durante el proceso de evaporación de la salmuera, se produce la precipitación de distintos tipos de sales que son consideradas subproductos del proceso. Entre ellas se encuentran: la halita, silvinita, carnalita de Potasio, bischofita y carnalita de litio. Tanto la silvinita, como la carnalita de potasio, son procesadas para la producción de potasio en la Planta Potasa ubicada también en la Planta Salar de Atacama.

A continuación, en la Figura N° 4.6, se ilustra el proceso productivo por parte de Albemarle Chile. Comenzando, desde la extracción de la salmuera del Salar de Atacama, hasta la realización de los procesos de transformación que permiten agregar valor al Litio, en la Planta Química La Negra. Todo explicado a detalle anteriormente.

Cabe mencionar que los productos finales de Albermarle del sistema productivo anteriormente, se resumen en: Carbonato de Litio (grado técnico), Carbonato de Litio (grado batería) y Cloruro de Litio.

Figura N° 4.6 Proceso productivo, en relación al Litio, por parte de Albemarle.



Fuente: Página oficial Albemarle.

4.3.- Análisis y proyección de la demanda de Litio

Como se ha mencionado a lo largo de esta investigación, 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. Tendencia que, según la Comisión Chilena del Cobre, se espera que continúe creciendo progresivamente, a medida que los automóviles de combustión interna comienzan a ser progresivamente reemplazados por alternativas con una menor huella de carbono.

En este contexto, las exportaciones realizadas, por Chile, serán vitales debido a que están, principalmente, enfocadas en proporcionar Carbonato de Litio a los distintos países desarrollados que se desenvuelven en la industria automotriz. Como se menciona en el punto 2.8.2 del presente informe, los destinos de las exportaciones en territorio nacional tienen como principal destino China, seguido por Corea del Sur y Japón. Esto último siendo confirmado, por las empresas oferentes situadas en Chile, mediante sus informes financieros, donde se detalla que, en ambas empresas, sus principales clientes de Litio corresponden a los tres países mencionados con anterioridad.

En consecuencia, de lo expuesto, para poder realizar una proyección, dentro los próximos 6 años, de las exportaciones chilenas, relacionadas al Carbonato de Litio, es necesario analizar las económicas de los países mencionados con anterioridad, debido a que esto podría influir directamente en los niveles de ventas que puede presentar Chile.

Para llevar a cabo lo anterior, en una primera instancia, es necesario obtener los PIB de cada país consumidor, junto con las exportaciones realizadas por Chile, para este propósito se toma un periodo de evaluación de 11 años (2011-2021), para poder tener datos más certeros en la futura estimación. Valores adjuntados en la Tabla N° 4.10 que se presenta a continuación, de forma de poder visualizar, de forma más clara, los procedimientos que se seguirán más adelante, para el cumplimiento del objetivo de este punto en particular.

Todos los datos expuestos, son obtenidos directamente de la página del Banco Mundial, en la cual se evidencian alzas y disminuciones de los PIB de los diferentes países. Situación que se analizará a continuación de la tabla expuesta, Tabla N° 4.10, para un análisis más completo que ayude a desarrollar la investigación planteada en este documento.

Tabla N° 4.10 Exportaciones de Chile y el PIB de los principales consumidores del Litio chileno.

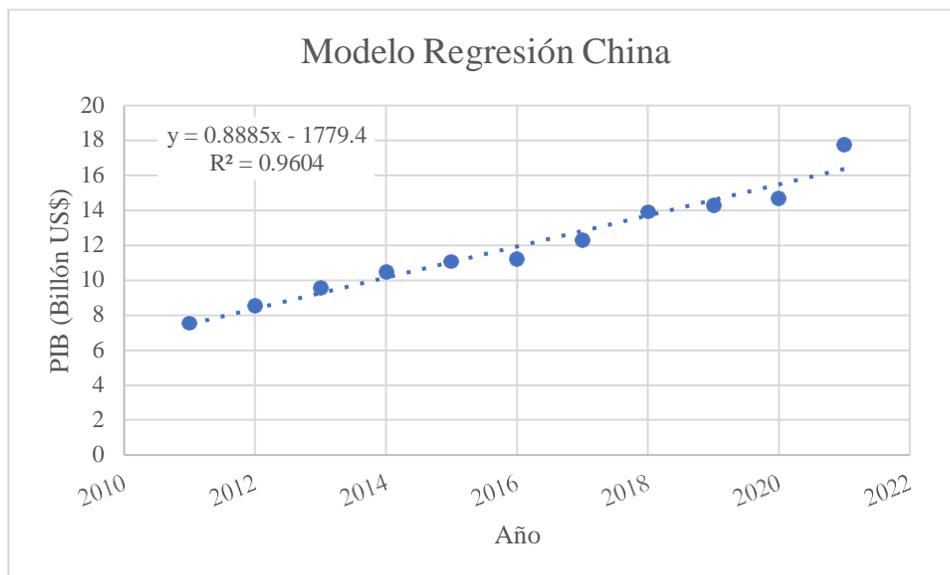
Año\Ítem	Exportaciones de Li₂CO₃ (Millones US\$)	PIB China (Billón US\$)	PIB Corea del Sur (Billón US\$)	PIB Japón (Billón US\$)
2011	204	7,55	1,25	6,23
2012	240	8,53	1,28	6,27
2013	225	9,57	1,37	5,21
2014	227	10,48	1,48	4,9
2015	245	11,06	1,47	4,44
2016	499	11,23	1,50	5,00
2017	694	12,31	1,62	4,93
2018	952	13,89	1,72	5,04
2019	767	14,28	1,65	5,12
2020	618	14,69	1,64	5,04
2021	885	17,73	1,80	4,94

Fuente: Elaboración propio, en base a datos por el Banco Mundial.

Como se puede apreciar en la Tabla N° 4.10, el PIB, de los tres países adjuntados, sólo dos han presentado un aumento en lo que del 2011 al 2021 respecta, prosperando la economía de los países en análisis. Situación contraria a la de Japón, debido a que, del año 2011 al 2021, presenta una disminución de su PIB, situación que podría ser riesgosa para el país nacional, debido a su alto grado de exportaciones al país en cuestión.

Con los registros históricos recabados, se realiza un modelo de Regresión lineal simple, para poder obtener el modelo matemático que permitirá estimar el PIB dentro los próximos 6 años, de cada país anteriormente mencionados.

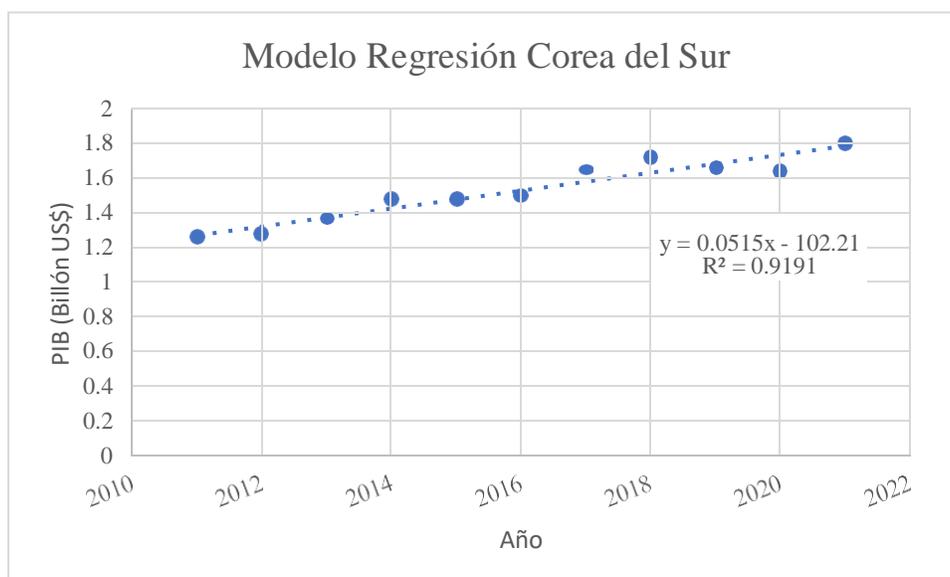
Gráfico N° 4.4 Modelo de Regresión lineal simple para el PIB de China.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos proporcionados por el Banco Mundial.

Como se puede observar, existe un alza considerable a lo largo de los años, siendo esto favorable para Chile, debido que corresponde a su primer gran comprador de LCE (Carbonato de Litio Equivalente).

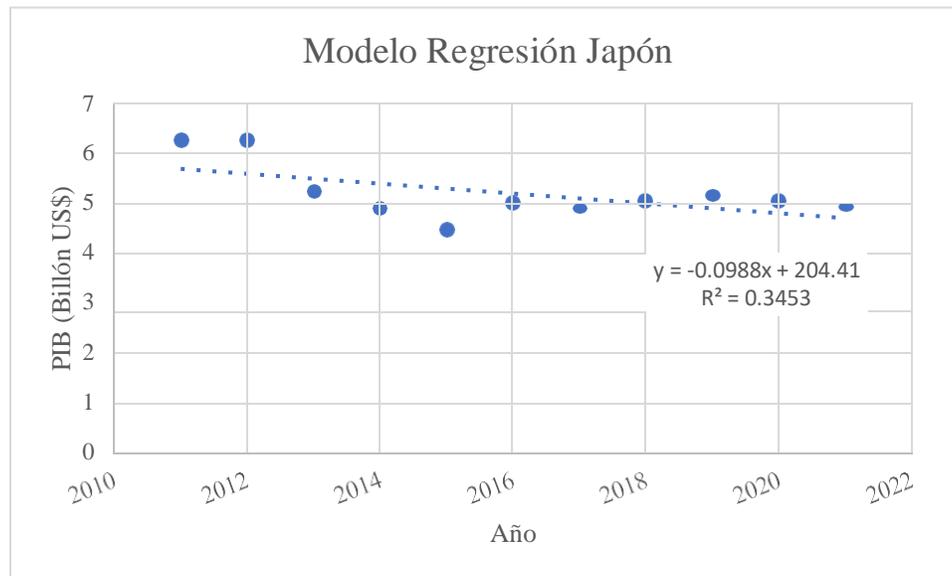
Gráfico N° 4.5 Modelo de Regresión lineal simple para el PIB de Corea del Sur.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos proporcionados por el Banco Mundial.

Al igual que la Figura N° 4.7, el PIB de Corea ha presentado una disminución considerable, fortaleciendo su economía y sus negociaciones con Chile, como el segundo comprador de Carbonato de Litio.

Gráfico N° 4.6 Modelo de Regresión lineal simple para el PIB de Japón.



Fuente: Elaboración propia, en base a datos proporcionados por el Banco Mundial.

A diferencia de los otros dos países analizados, Japón evidencia una economía más lineal, al no presentar demasiado alza en sus niveles de PIB. Siendo un país económicamente estable a lo largo de los años, sin presentar mayores alzas o bajas en sus niveles económicos.

Con los modelos anteriormente planteados, se realiza la estimación de los posibles valores que presentará el PIB en los próximos 6 años, mediante la utilización el método de Regresión Lineal Simple. Obteniendo la siguiente tabla resumen (ver Tabla N° 4.11).

Tabla N° 4.11 Proyecciones del PIB de los principales países consumidores del Litio chileno

Año\Ítem	Exportaciones de Li₂CO₃ (Millones US\$)	PIB China (Billón US\$)	PIB Corea del Sur (Billón US\$)	PIB Japón (Billón US\$)
2022	-	17,27	1,83	6,97
2023	-	18,16	1,89	7,07
2024	-	19,05	1,94	7,17
2025	-	19,93	1,99	7,27
2026	-	20,82	2,04	7,37
2027	-	21,71	2,09	7,47

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido los posibles PIB de cada país en cuestión, se procede a estimar la demanda dentro de los próximos 6 años, utilizando el Método de Regresión Múltiple, obteniendo el siguiente modelo econométrico con sus respectivos coeficientes:

$$\hat{Y} = -54,75 \times X_1 + 2880,92 \times X_2 + 244,07 \times X_3 - 4503,37 + u$$

Donde:

- ✚ \hat{Y} : Exportaciones estimadas de Carbonato de Litio de Chile
- ✚ X_1 : PIB de China
- ✚ X_2 : PIB de Corea del Sur
- ✚ X_3 : PIB Japón
- ✚ u : Término de error del modelo

Los datos son introducidos al programa Excel, mediante la función de regresión, arrojando un coeficiente de correlación múltiple de 0,978 y un R cuadrado de 0,956 (ver Anexo 2, para más detalles relacionadas a las estadísticas de la regresión lineal múltiple).

En función de los parámetros obtenidos del Modelo de Regresión Lineal Múltiple, se obtienen los siguientes valores de exportaciones de Carbonato de Litio, en millones de US\$, en Chile, durante los próximos 6 años.

Tabla N° 4.12 Proyecciones de las exportaciones de Carbonato de Litio en Chile al 2027.

AÑO	Exportaciones Carbonato de Litio (Millones US\$)
2022	1538
2023	1662
2024	1786
2025	1910
2026	2034
2027	2157

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se adjunta una gráfica (Figura N° 4.7) visualizando las exportaciones adjudicadas a Chile, relacionada con el producto Carbonato de Litio Equivalente (LCE), al 2027.

Gráfico N° 4.7 Exportaciones de LCE (Carbonato de Litio Equivalente), adjudicadas a Chile al 2027.



Fuente: Elaboración propia, en base a los datos obtenidos de la Regresión Lineal Múltiple.

Capítulo V: Conclusiones

En vista del importante desarrollo que ha presentado la industria de Litio a nivel mundial y nacional, el estudio realizado a lo largo del documento buscó comprender el entorno, ya sea interno o externo, en el cual se desenvuelve este mercado. En el cual, gracias a los datos recopilados, se pudo estimar la posible demanda dentro de los próximos años, y el cómo Chile enfrenta este escenario.

Según el análisis realizado al ambiente externo e interno de la industria, se pudo observar una serie de falencias que tiene la industria a nivel nacional, desaprovechando factores que significarían generar un posicionamiento aún mayor. Una de las principales deficiencias apreciadas durante el análisis, corresponde a las barreras legales existentes en la actualidad, sumado a la poca participación del Estado en materias de inversión y desarrollo, como en temas de conocimiento. A lo anterior, se le suma las carencias presentadas en el proceso productivo, en relación a tipo de extracción que se usa, generando producciones lentas y dañinas con el medioambiente, que traen como consecuencia que otros países superen a Chile en estas materias. Sumado a lo anterior, se tiene el poco valor agregado que se tiene en materias de exportación, teniendo como producto estrella el Carbonato de Litio. En base a lo expuesto, se plantearon cuatro estrategias, que permitirían el crecimiento de la industria del país, en las que se encuentra la estrategia de diversificación, de innovación tecnológica, alianzas estratégicas y liderazgos en costos.

Por otra parte, durante el análisis de las empresas oferentes en territorio nacional, se pudo demostrar la cerrada industria que existe, al 2022, en Chile, en vista de que, las únicas dos empresas productoras, no poseen ningún tipo de diferenciación entre sí al contar con los mismos procesos productivos, en el mismo salario. Sin embargo, esto no es impedimento para las empresas a la hora de generar utilidades, ya que ambas han presentado un aumento considerable en sus ventas al paso de los años. Situación que se ve reflejada aún más este 2022, dado que, a la fecha, ambas empresas han evidenciado aumentos jamás antes vistos en sus ventas de Carbonato de litio, siendo esto atribuido a la alta demanda y alza en los precios, sumado al actual cambio que se está presentando en materias de electromovilidad.

A su vez, mediante un análisis por el modelo de regresión lineal, se pudo estimar que, dentro de los próximos 6 años, las exportaciones de Chile, en materias de Carbonato de Litio, irán

en acenso. Siendo esto posible solo si el país sabe aprovechar la demanda de uno de los metales del futuro. Lo anterior es apoyado por el doctor en economía minera, Juan Ignacio Guzmán, quien, en las entrevistas anexadas del presente informe, señala lo difícil que sería abarcar la demanda creciente, de un 20% anual, en los próximos 10 años con tan pocas empresas productoras en territorio nacional.

En síntesis, pese a que Chile posee una de las mayores reservas de litio a nivel mundial, los volúmenes de producción son proporcionalmente bajos en comparación con otros países productores. Generando una disminución de participación en la producción mundial (USGS,2021), pronosticando que este porcentaje sea aún mayor a lo largo de los años. Esto considerando el alto crecimiento en la demanda esperada y la limitada oferta probable que se visualiza para Chile.

Lo anteriormente señalado puede ser consecuencia, en primer lugar, por el actual marco normativo o regulatorio que tiene la exploración y explotación de este mineral, requiriendo con urgencias actualizaciones para el desarrollo sostenible de la industria del país. Por otra parte, la tecnología convencional utilizada en el proceso de obtención del litio es un claro desafío en términos de mejorar y acelerar el porcentaje de recuperación del litio contenido en las salmueras, además de hacer más eficiente, de forma significativa, la huella hídrica de la producción comercial del litio para asegurar el acceso a los mercados. En este sentido, el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, ayudaría a las crecientes preocupaciones ambientales, sociales y territoriales que existen en la actualidad.

Concluyendo que, los principales desafíos que enfrenta esta industria tienen relación con lograr un mayor dinamismo en los frentes socioambientales, regulatorios y tecnológicos. Permitiendo concretar un aumento de la capacidad productiva, apalancada por una producción de litio más sostenible.

Bibliografía

- Albemarle. (2020). *Sustainability Reports*. Albemarle.
- (June 2021). *Sustainability Report Update*. Albemarle.
- (Septiembre 2022). *Ingresos y Pagos*.
- Antofagasta, U. d. (s.f.). *La industria del Litio en Chile*.
- CEPAL. (2020). *Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile*. Santiago.
- CEPAL. (2021). *Cadena de valor del litio*. Santiago.
- CNN. (05 de Noviembre de 2022). *Explotación del litio en Chile*. Obtenido de Minería 360:
<https://www.youtube.com/watch?v=QvLUWGXcI3E>
- Cobre, C. C. (2018). *Mercado internacional del Litio y su potencial en Chile*. Santiago.
- Cobre, C. C. (2020). *Cobre y otros minerales*. Santiago.
- Cobre, C. C. (2021). *El mercado del Litio*. Santiago.
- COCHILCO. (2009). *Antecedentes para una Política Pública en minerales estratégicos: Litio*. Santiago.
- COCHILCO. (2021). *El Mercado del Litio*. Santiago.
- COCHILCO. (26 Agosto 2020). *El mercado del Litio y la importancia de Chile*.
- Estadísticas Monetarias y Financieras*. (2022). Obtenido de Banco Central de Chile:
https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_DYB/MN_BDP42/BP6M_EXPORT/BP6M_EXPORT?cbFechaInicio=2011&cbFechaTermino=2022&cbFrecuencia=ANNUAL&cbCalculo=NONE&cbFechaBase=
- Futuro del Litio*. (07 de Marzo de 2022). Obtenido de CNN Chile:
<https://www.youtube.com/watch?v=a0Cyt3CFYE>
- Futuro del litio en Chile*. (22 de Abril de 2022). Obtenido de Reporte minero:
https://www.youtube.com/watch?v=vU9_pIFPh8
- La cadena de Valor del Litio Chileno*. (2022). Obtenido de ECO MINING CONCEPTS:
<https://ecominingconcepts.cl/es/la-cadena-de-valor-del-litio-en-chile-de-la-salmuera-a-la-bateria-de-iones-de-litio/>
- Marina, R. (s.f.). *Chile y el Litio*.
- PIB China, Corea, Japón*. (2021). Obtenido de Banco Mundial:
<https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?end=2021&locations=CN-KR-JP&start=2010>

Procesos de Producción. (s.f.). Obtenido de SQM: <https://www.sqm.com/acerca-de-sqm/recursos-naturales/proceso-de-producción/>

PWX. (31 Diciembre 2021). *Estados Financieros Consolidados de Albemarle Limitada*.

ROADMAP. (2022). *Estrategia Tecnológica del Litio en Chile*. Santiago.

SERNAGEOMIN. (2013). *Mercado internacional del Litio*. Santiago.

SQM. (2021). *Memoria Anual*.

SQM. (Noviembre 2022). *3Q2022 Results Presentation*.

Anexos

Anexo 1.- Matriz de cruzamiento

Tabla 1.1 Matriz de cruzamiento FA

		AMENAZAS	
		Competencia en el mercado internacional	Economía en ciclo recesivo
FORTALEZAS	Posicionamiento de mercado actual	El posicionamiento de mercado que caracteriza la industria nacional del litio actualmente es una ventaja por sobre la competencia, en términos de preferencia por parte de los consumidores. Sin embargo, se hace indispensable implementar mejoras en el proceso productivo actual, en función de aumentar el nivel de producción en términos de eficiencia y sostenibilidad, y así mantener una competencia activa en el mercado internacional. Si bien es cierto que, hoy Chile, es uno de los principales exportadores de carbonato de litio, el desarrollo que ha manifestado la competencia evidencia un progreso precario de la industria del litio en el país.	El posicionamiento de mercado actual puede otorgar cierta estabilidad a las empresas que operan en la industria ante el ciclo económico que atraviesa el país (en términos de ingresos en función de sus exportaciones)
	Costos de producción óptimos		El manejar costos de producción bajos contribuye a que se cuente con mayores recursos monetarios (liquidez), esto en función de sostener un aumento potencial en los egresos ante un escenario económico recesivo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla N° 1.2 Matriz de cruzamiento DA

		AMENAZAS	
		Competencia en el mercado internacional	Desconformidad frente a la industria
DEBILIDADES	Producto ofrecido sin valor	<p>Resulta relevante desarrollar estudios, o bien continuar con ellos, para determinar la factibilidad de seguir operando bajo una cadena de valor que proporciona un bien sin valor agregado, como es el caso del litio como materia prima. Esto en pro de definir estrategias para competir en el mercado internacional de este mineral. Para el caso asociado las actividades productivas, es importante buscar diversificar la producción de los compuestos del litio y no solo centrarse en el carbonato de litio como producto estelar, ya que así se podrá disponer de mayor participación en aquellos mercados de los compuestos que han sido relegados, y que sin duda tienen una gran relevancia en la cadena de suministro de los consumidores.</p>	
	Tecnología ineficiente	<p>Si bien es cierto que las empresas, presentes en la industria, ya se encuentran trabajando en estudios que dictaminen que tecnología resulta óptima para sus operaciones, se presenta cierta urgencia en implementar dichas mejoras en el proceso. Esto ante las exigencias que presenta el mercado en cuanto a la cantidad producida y los tiempos de entrega del producto. El actual proceso no logra cumplir con ello, por lo que la competencia ha logrado suplir aquella demanda insatisfecha. Es por ello que resulta crucial hallar la tecnología que solucione dicha problemática.</p>	
	Operación no sustentable		<p>El modificar la forma en la que se opera la explotación del litio en el país cambia el rumbo de la relación existente con las comunidades aledañas y las entidades medioambientales. Es por ello que se debe trabajar intensamente en implementar un método eficiente, eficaz y por sobre todo sostenible, ya que este último punto es el que toma relevancia por las partes.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 1.3 Matriz de cruzamiento FO.

		OPORTUNIDADES				
		Potencial productivo del litio en Chile	Tendencias de mercado	Estabilidad económica de los principales socios comerciales	Fuerza media-baja de los sustitutos	Desarrollo de nuevas tecnologías
F O R T A L E Z A S	Posicionamiento de mercado actual	El posicionamiento de mercado actual de la industria del litio en Chile es uno de los pilares esenciales para aprovechar el potencial que posee este mineral en suelo nacional, considerando las condiciones meteorológicas, geográficas y el nivel de reservas que cuenta el país para su explotación. Una vez que el desarrollo y crecimiento de la industria destaque, existe una alta probabilidad que el país se consolide en el mercado internacional como el principal proveedor de productos asociados al Litio.	Un aumento en la demanda del litio ante la tendencia del consumo asociado a productos que están compuestos de este mineral, contribuye positivamente a la industria nacional, esto en virtud de la preferencia que cuenta el país en efecto del posicionamiento que posee en el mercado. Por lo que se puede sacar gran provecho a la tendencia.	El presente económico de los principales socios comerciales de Chile respecto al litio refleja cierta estabilidad, por lo que la tendencia de consumo será probablemente a la esperada o mejor. Esta situación resulta provechosa en relación al posicionamiento de mercado que posee el sector, teniendo la posibilidad de satisfacer la demanda solicitada.	Como la fuerza de los sustitutos es media-baja, da paso a que el consumo del litio siga predominando por sobre ellos, lo cual presenta cierta estabilidad en la participación que posee la industria en el mercado.	
	Costos de producción óptimos	Al contar con costos productivos óptimos, surge la posibilidad de incurrir en egresos asociados a I+D, inversión, entre otros. Esto con la finalidad de aprovechar el potencial productivo del litio en el país, considerando las condiciones que presenta las zonas de explotación.				Al contar con costos productivos óptimos, surge la posibilidad de incurrir en egresos asociados a I+D, inversión, entre otros. Esto con la finalidad de implementar mejoras en el ámbito tecnológico, buscando un proceso más eficiente, eficaz y sustentable.
	Baja huella de carbono					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 1.4 Matriz de cruzamiento DO.

		OPORTUNIDADES				
		Potencial productivo del litio en Chile	Tendencias de mercado	Estabilidad económica de los principales socios comerciales	Fuerza media-baja de los sustitutos	Desarrollo de nuevas tecnologías
D E B I L I D A D E S	Producto ofrecido sin valor agregado	El definir la cadena de valor que se desarrolla la industria nacional, proporcionará los lineamientos de cómo competir en el mercado internacional, siendo un punto crucial para sacarle el máximo provecho al potencial productivo del litio en el país y , así, no utilizar de forma ineficiente los recursos.				El definir el producto que será ofrecido al mercado y su respectiva cadena del valor en relación a la industria del litio en el país, ayudará a seleccionar la tecnología mas adecuada para dicho proceso, teniendo como objetivo, la eficiencia, eficacia y sostenibilidad.
	Tecnología ineficiente	El implementar tecnología óptima al proceso productivo que lo caracteriza, será clave para aprovechar las oportunidades que entrega las tendencias del mercado, como también, el aprovechar eficientemente los recursos utilizados en las actividades productivas. en terminos generales, la adopción tecnológica proporciona un sinfín de beneficios, sin embargo, se debe evaluar cuidadosamente su factibilidad en las condiciones que se espera operar.				
	Operación no sustentable					Se espera que la tecnología adoptada logre contribuir en principio a una operación sostenible con el ecosistema, ya que este punto resulta ser importantísimo en el como es vista la industria y sus potenciales negocios, acuerdos, etc.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2.- Análisis estadísticos de la regresión lineal múltiple.

Tabla N° 2.1 Estadísticas regresión lineal múltiple

ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN	
Coefficiente de correlación múltiple	0,97752595
Coefficiente de determinación R ²	0,95555698
R ² ajustado	0,93650996

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción (a)	-4503,36774	720,482722	-6,2504868	0,00042395
Variable X 1 (b ₁)	-54,7530127	30,1073962	-1,8185901	0,11179925
Variable X 2 (b ₂)	2880,91874	550,604985	5,23227871	0,00120943
Variable X 3 (b ₃)	244,07203	56,9509192	4,28565568	0,00363003

Fuente: Datos proporcionados por Excel.

Anexo 3.- Entrevistas

Eduardo Bitrán

(Entrevista realizada por CNN Chile, con fecha 07/03/22, al académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Adolfo Ibáñez, y ex vicepresidente de CORFO)

Sabemos que hay mucho interés por el desarrollo del Litio a nivel global, debido a que la electromovilidad está empujando fuertemente esta industria. ¿Qué es lo que debería, a su juicio, hacer Chile con esta oportunidad?

Tenemos una situación en que el mercado está creciendo de una forma extraordinaria. Los países desarrollados han establecido que van a poner una fecha en que ya no van a producir más vehículos de combustión interna. Entonces, hay una tremenda escasez por el litio para la manufactura de baterías para la industria de autos eléctricos. Esto significa, que Chile tiene una oportunidad muy interesante, considerando que tenemos unas regalías muy altas en el Salar de Atacama.

En mi opinión, el foco debe estar en poder producir lo más posible, para satisfacer esta demanda insatisfecha del mercado mundial, generando, de esta forma, recursos fiscales.

A su juicio, ¿Cuál es la forma correcta o el modelo adecuado para aprovechar esta oportunidad, privilegiada, que tiene Chile en torno al Litio?

La ventana que tenemos no es muy larga, debido a que el Litio, en términos de recursos, hay mucho en el mundo. Bolivia tiene las mayores cantidades de recursos a nivel mundial, pero no produce prácticamente nada de Litio. A diferencia de Chile, que son reservas probadas, posicionándolo como el gran líder, con el 47% de las reservas mundiales. El que le seguía, hasta hace poco, era Australia. Pero este, gracias a una inversión muy rápida, hoy en día, produce más del doble, en comparación con Chile.

Entonces, lo que tenemos que hacer es poder, de alguna manera, aumentar nuestra producción en forma sustentable. Siendo esto, el primer y fundamental desafío.

Se ha puesto el foco en generar una industria con valor agregado asociada a la explotación de litio. ¿Qué mirada tiene usted respecto a esto?

Insisto que el principal aporte que puede hacer la industria es recaudación al fisco.

En términos de valor agregado, creo que Chile tiene una oportunidad en el Litio metálico, porque, además, tenemos energía solar que nos permitiría producir Litio metálico a costos comparables y limpios. Además, tenemos oportunidad en cátodos para la batería y, probablemente, para la nueva generación de baterías en electrolitos. Sin embargo, sería un aporte modesto en relación a la recaudación que puede generar la industria. Chile puede avanzar en ese sentido, debido que se han generado los contratos que permiten asegurar que un porcentaje de la producción de los dos principales productores se destine a ese propósito, pero requiere un rol activo de CORFO que haga cumplir esos contratos, y que efectivamente atraiga inversionistas de valor agregado.

No soy tan optimista respecto a la producción de baterías, debido a que esta industria va de la mano con la industria automotriz. Nosotros no tenemos este tipo de industria, por lo que requiere de un nivel de inversión en investigación y desarrollo muy significativas. Por lo que me fijaría más en las otras aplicaciones que he mencionado.

 **Gonzalo Gutiérrez**

(Entrevista realizada por Reporte Minero, con fecha 22/04/22, al ex académico de la Universidad de Chile, y actual asesor del Litio y Salares del Ministerio de Minería)

Las proyecciones apuntan a que la demanda por productos de Litio del 2019 al 2030 crecerán más de 13 millones de toneladas. Sin embargo, los mismos análisis proyectan que la producción de Litio en Chile podría alcanzar 234 mil toneladas para 2030, siendo superado, para ese entonces, por Argentina, China y Australia ¿Cree que este escenario es probable, considerando que tenemos una de las mayores reservas del Litio en el mundo? ¿Como Chile podría ser más competitivo en este mercado?

Han comenzado muchos proyectos, en distintas partes del mundo. Por lo tanto, es evidente que la participación de Chile pueda caer si se mantiene los niveles de producción que actualmente existen, o si no existen mejores en el ámbito tecnológico.

La participación en el mercado del Litio se puede aumentar, en primera instancia, aumentando la producción del producto Carbonato de Litio. Pero no esto no necesariamente se puede hacer aumentando los lugares de explotación, sino, siendo más eficientes en los procesos de extracción de este mineral. Es decir, que los procesos no sean tan largos o intensivos al impacto medioambiental, esto hablando aguas arriba.

En relación a agua abajo, hay que pensar que Chile, de casi los 60 salares que existen, solo en 20 salares se entiende, hasta hoy en día, que hay Litio. Pero esos salares son un décimo de la superficie del Salar de Atacama, y tienen la mitad de ley. Por lo que no es ahí donde se pueda sacar la mayor cantidad de Litio, pensado en el Carbonato de Litio. Sin embargo, si se piensa en agregación de valor aguas abajo, se tiene que investigar cómo desarrollar elementos de baterías, ánodos, cátodos, grasas. Es ahí donde aumenta el valor del Litio, según estudios de CORFO.

Ha habido novedades en el mundo del Litio, como por ejemplo en México, donde se ha nacionalizado el Litio en ese país. ¿Tiene implicancia para Chile este suceso?

Tiene sin duda un impacto, pero no de inmediato. Debido a que México tiene que hacer una serie de procesos para, en una primera instancia, instalar su industria de Litio, y después para producir este mineral. Esto podría tomar entre 5 a años, debido a que aun, México, no aparece en las listas del Servicio Geológico de Estados Unidos como país que contenga reservas de Litio. Esto implica, que todavía hay que explorar y ver cuáles son los recursos disponibles que sean económicamente factibles de explotar. Por lo tanto, falta un par de años para que este país pueda jugar un papel más importante en la industria.

En relación al conflicto geopolítico que sucede en Ucrania. ¿De qué manera, lo que está sucediendo en ese país, influye en la industria del Litio?

Es una zona donde hay combustibles fósiles (petróleo, gas natural, etc.), por lo que podría forzar e incentivar el cambio de la transición energética desde combustibles fósiles a energías renovables no convencionales, fotovoltaica o eólica. Es en este escenario, donde la industria del Litio se ve favorecida, debido a que la energía fotovoltaica y eólica necesitan de baterías, donde el Litio juega un rol fundamental.

Dr. Humberto Estay Cuenca

(Entrevista realizada por Minería Chilena, con fecha 05/09/22, al investigador de Advance Mining Technology)

De las siguientes formas de extracción de Litio: evaporación solar, osmosis inversa, extracción química y extracción por solvente; ¿Cuáles son los métodos más empleados en Chile?

El principal método utilizado en el país, como en la mayoría del mundo, corresponde a la extracción desde las salmueras. Esta consiste, en una primera etapa, en la concentración de la salmuera por el método de evaporación solar en piscinas. Este método evapora entre el 85-95% del agua contenida en las salmueras.

No obstante, existen desarrollos y estudios, en donde se aplica extracción por solventes, nanofiltración, precipitación química y absorción y sus variantes. Este último es el que ha sido más estudiado a nivel científico, debido a su alta eficiencia. La mayoría de estas tecnologías en desarrollo se denominan “Extracción directa de Litio (EDL)”

¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de estos procesos EDL?

La principal ventaja de las tecnologías EDL es la alta eficiencia de extracción del litio desde la salmuera, además de su alta selectividad. Las tecnologías de extracción directa tienen una eficiencia que superan el 90%, valor comparado con las eficiencias del método actual de 50% o menos, por lo que la implementación de estas tecnologías EDL podrían permitir aumentar la producción reduciendo la extracción de salmuera.

En la otra vereda, a mi juicio, la principal desventaja es el supuesto que toda salmuera procesada puede ser retornada al salar. Lamentablemente, este supuesto no ha sido respaldado con estudios que determinen el impacto de la cantidad y calidad de la salmuera retornada.

Por otra parte, las operaciones actuales retornan alrededor de un 10 a 15% de la salmuera al salar, y las tecnologías EDL suponen el retorno de un 100%. Por otra parte, la calidad de la salmuera retornada puede variar respecto al proceso.

Estos dos aspectos podrían determinar distintos efectos en un salar, dependiendo dónde y cómo se haga el retorno. En concreto, hoy no se sabe con certeza si un salar puede tolerar el retorno de alta calidad de salmuera con una calidad diferente a la natural.

Considerando el contexto descrito anteriormente. ¿Cómo se puede avanzar para evitar las pérdidas de agua del proceso actual y levantar las aprensiones de los procesos EDL?

Primero, se debería hacer un análisis crítico de los procesos propuestos caso a caso, ya que cada salar tiene condiciones inherentes, las salmueras tienen calidades diferentes y, con ello, cada proceso podría generar una salmuera de retorno diferente.

Segundo, avanzar en estudios que determinen impactos de retorno de salmuera en calidad y cantidad, incorporando una estrategia de retorno, dependiendo de las condiciones de cada salar. Esto podría regular las tasas de retorno y calidad de estas.

Por último, es perentorio avanzar bajo una mirada de integración de procesos, donde existan etapas que puedan extraer eficientemente el litio, como las EDL, en conjunto con etapas que puedan usarse en el mismo proceso o como un recurso para comunidades cercanas, como una nueva fuente de agua.

Nos podría comentar, paso a paso, de esta nueva tecnología desarrollada por Advance Mining Technology Center para la extracción de Litio.

Nuestro proceso se basa en las concentraciones de litio en la salmuera, removiendo las impurezas en forma de cristales. Similar al proceso convencional, pero recuperando agua de alta calidad (Proceso LiSa).

Nuestras pruebas apuntan a la posibilidad de recuperar en torno a un 85% de agua en alta calidad y el 15% restante se puede recuperar en una salmuera de retorno. El proceso se basa en la recuperación de agua mediante destilación/cristalización por membranas, utilizando solo energía solar directa para generar transferencia de masa a temperaturas bajo 60°C.

Cabe precisar que el proceso LiSa no se clasifica como EDL, ya que no extrae Litio de la salmuera, sino que lo concentra. La gran ventaja que posee, es su posibilidad de recuperar agua en diferentes calidades y cantidades, empleando energía solar de calefacción directa.

Asimismo, ahora estamos avanzando en el desarrollo de diferentes opciones que se sumen al proyecto para recuperar litio efectivamente, además de agua de alta calidad.

Independientemente de que nuestro centro esté desarrollando tecnologías alternativas de extracción de Litio, creo relevante considerar que las definiciones que se haga hoy y a futuro, y en particular en un contexto de la inédita creación de la Empresa Nacional del Litio, no suponga que la problemática tecnológica está resuelta.

Sin duda existen avances y alternativas interesantes, pero el análisis de la selección del proceso debe estar asociado a las restricciones específicas de cada salar, donde el destino de cada flujo o corriente de salida de la tecnología debe estar bien estimada en calidad, cantidad y manejo.

Por ello, persiste la necesidad de avanzar en conocimientos científicos-tecnológico que apoye la toma de decisiones para una minería nacional del Litio sustentable, armónica con las comunidades y que aporte realmente a la cadena de valor que se espera de este mineral en la política pública.

Juan Ignacio Guzmán

(Entrevista realizada por CNN Chile, con fecha 05/11/2022, al doctor en economía minera, académico y gerente general de la Consultora GEM)

En el contexto del alza en demanda y precios que ha tenido la industria del Litio, ayúdanos a entender ¿Por qué, según el sector privado, Chile estaría desaprovechando este “Boom” del Litio?

El litio, como muchos saben, es uno de los metales del futuro. Lleva 10 años creciendo a tasas muy importantes, producto de la electromovilidad, donde esperamos que siga creciendo en los próximos 10 años, alrededor, del 20% anual. Pero son pocas las industrias que uno tiene en mente, cuando se piensa crecer un 20% al año.

Desafortunadamente, Chile, hasta 2012, era el mayor productor mundial de Litio. La falta de inversión, sumado a las barreras legales de invertir en Chile, hicieron que el año 2013, perdiéramos el primer lugar a manos de Australia.

Si bien, hoy en día, explotamos el Salar de Atacama, tenemos potencial para explotar otros 17 salares. Lamentablemente, llevamos 10 años tratando de eliminar las barreras legales para que se pueda explotar el Litio en Chile, sin mayor éxito. De esa forma, hemos desaprovechado la oportunidad que se está tanto en la industria mundial de este mineral. Y, a menos que hagamos algo urgente dentro de los próximos 10 años, no vamos a poder producir la cantidad necesaria, de tal manera de aprovechar un mercado que va en ascenso.

Tu comentabas que, hasta el momento, solo estamos explotando un salar. Pero, hace un par de años, se está empezando a prospectar la posibilidad de explorar el Salar de Maricunga. ¿Por qué esto generó una polémica? ¿Cuál es el problema que hay, hoy día, en la exploración del Salar de Maricunga?

El litio, en Chile, es especial porque es un mineral que necesita de un permiso llamado CEOL, es una concesión, con nombre y apellido, para explotar este mineral en nombre del Estado. Hoy en día, tenemos al menos 4 empresas que tiene concesiones mineras en el Salar de Maricunga, pero solo una de ella, que es CODELCO, tiene el derecho a explotar Litio, las demás empresas tienen concesiones, pero para otros minerales.

En ese sentido, CODELCO extendió su CEOL y, además, está solicitando una reinterpretación respecto a las dimensiones donde puede operar. ¿Nos puede explicar más a detalle esta situación?

El 2018, el Estado le dio a CODELCO un CEOL para poder explorar y explotar Litio en el Salar de Maricunga. Sin embargo, la empresa aún no inicia la campaña de exploración oficial, por lo que, primero, ese CEOL que tenía una duración acotada en el tiempo, hay que extenderla porque, de lo contrario, no le permitiría a CODELCO recuperar la inversión. Lo segundo es el espacio, CODELCO en la solicitud que está haciendo, está pidiendo explotar el Litio de todo el Salar de Maricunga con el objeto de generar un

proyecto que sea atractivo. La verdad que, cada una de estas cuatro empresas por sí solas, no pueden generar un proyecto atractivo porque tienen un área muy pequeña.

Lo anterior sirve como ejemplo de que, si tuviéramos una buena política público-privada podríamos estar haciendo y produciendo Litio en el Salar de Maricunga, aprovechando esta oportunidad de mercado.

¿Qué te parece la idea de la creación de la Empresa Nacional del Litio? ¿Qué oportunidades ofrece esto para Chile?

La idea es buena. Lo crítico es ver como se materializa, debido a que Chile, hoy en día, no tiene ni la capacidad económica, para invertir en Litio, ni la capacidad técnica para desarrollar un proyecto de esa naturaleza. Necesitaríamos de socios locales o extranjeros, que tengan la experiencia, el capital y el conocimiento de explotar litio, o bien necesitamos enfocarnos en otra industria asociada al Litio, por ejemplo, la industria de productos derivados.

Para ir cerrando, ¿Afecta en la industria del Litio los últimos ajustes relacionados con el Royalty minero?

Hay que saber que esto no afecta a la industria del Litio, porque solamente afecta a los recursos que son concesibles y, como se dijo anteriormente, el Litio no lo es.

Anexo 4: Comentarios de expertos

 **Fernando Luchini** (presidente ejecutivo de la Corporación Alta Ley)

En el correr de los últimos años el litio ha sido protagonista en las discusiones de minería, desarrollo y sostenibilidad, tanto de las sociedades y ecosistemas internacionales como de aquellos locales. Y es que incluso las proyecciones más conservadoras muestran un sostenido incremento de su demanda, la que, según algunas estimaciones, podría llegar a triplicarse en los próximos 5 años. Estos pronósticos, más allá de sus discrepancias, se encuentran sujetos principalmente al avance de la electromovilidad y el desarrollo de las economías verdes del mañana y, especialmente, al crecimiento del mercado de los vehículos eléctricos y de las baterías para el almacenamiento energético de diverso tipo. Asimismo, algunas proyecciones incluso estiman que podría generarse una brecha entre demanda y oferta que ponga en riesgo el suministro a nivel mundial. Lo que, sin duda, mas no sin desafíos, representa una oportunidad para nuestro país como el potencial motor habilitante de este cambio de paradigma a nivel mundial.

 **Ignacio Mehech** (Vice President of External Affairs and Country Manager Chile-Albemarle)

Tenemos el enorme desafío de responder a la creciente demanda internacional, motivada fundamentalmente por la electromovilidad, sin utilizar más salmuera que la autorizada y con estricto cuidado medioambiental, con diálogo y respeto por las comunidades. Hoy, el cómo producimos es tan importante como el cuánto.

 **Javier Ruiz del Solar** (director AMTC – Universidad de Chile)

Chile ocupa una posición relevante a nivel mundial en cuanto a producción y a reservas de litio, lo que nos abre una serie de oportunidades de desarrollo futuro, pero nos impone también importantes desafíos ambientales que no podemos dejar de abordar.

Ya no es novedad el rol transformador que ha adquirido el litio en la economía mundial, siendo un actor clave para su descarbonización y, por consiguiente, para la transformación a la electromovilidad, asunto de incuestionable relevancia en el mundo moderno. Y es que Chile puede ser protagonista en esta transición, principalmente por contar con una gran cantidad de recursos de Litio. Sin embargo, los yacimientos chilenos,

ubicados en los salares altiplánicos, y los procesos de extracción de este mineral utilizados en la actualidad, traen consigo grandes desafíos, principalmente en lo que se refiere a la eficiencia, sostenibilidad ambiental y al trabajo con las comunidades locales.

✚ **Luis Huerta Torchio** (jefe de la División de Investigación y Aplicaciones Nucleares – Comisión Chilena de Energía Nuclear).

El desarrollo industrial en el ámbito del litio representa un desafío en una amplia variedad de áreas, con impacto en el mejoramiento y optimización de la extracción del mineral y la producción de compuestos como carbonato e hidróxido de litio, hasta el desarrollo de materiales avanzados, y considerando en esa ruta tanto los efectos en el medioambiente y la biodiversidad como las preocupaciones e intereses de las comunidades en el entorno de las áreas de explotación.

El litio representa un activo de primera importancia para Chile, por nuestra posición mundial preponderante en cuanto a las reservas, y la debida atención al desarrollo pertinente generará oportunidades para todo el resto de la economía.

La tarea de incrementar el número de investigadores e investigadoras en el área del litio, así como de proveer al sistema de los instrumentos de financiamiento público a la investigación y de incentivos a los privados para potenciar la inversión en conocimiento y tecnología, depende de una muy precisa alineación entre la industria y la voluntad del Estado. La posibilidad de crear un gran centro de investigación nacional en litio, junto con una amplia red de iniciativas descentralizadas, que abarque todo el dominio del problema y, más allá de la ciencia y tecnología, contribuya también en los aspectos regulatorios, depende de esa sintonía. Se trata de inversiones públicas de carácter basal, que aseguren el desarrollo de conocimiento por sobre los vaivenes que caracterizan los mecanismos de financiamiento actual de la investigación científica y tecnológica en el país. Universidades, centros independientes e institutos tecnológicos de investigación públicos -este último es el caso de la Comisión Chilena de Energía Nuclear-, tienen un rol que debe ser inducido y mantenido en el tiempo por decisiones políticas de muy largo plazo. Los mecanismos de cooperación entre el ámbito científico y el mundo privado de la industria deben, por otra parte, ser fomentados en las mismas escalas de tiempo.

 **Guillermo Valdés** (Gerente de Desarrollo Minero- ENAMI)

Estamos viviendo un periodo histórico para la humanidad. Profundos cambios en lo que respecta a la matriz energética mundial nos obligarán a adaptar no solo nuestros procesos productivos, sino que también nuestros estilos de vida.

Para nuestro país el desafío es mayúsculo y la industria minera tiene la oportunidad y el deber de ejercer un rol protagónico. Ya se han dado pasos importantes detrás de una alcanzar una minería más verde y de demostrar un eficiente uso del agua y de los recursos naturales necesarios para su desarrollo.

Hoy es el turno del litio, y Chile debe participar activamente detrás de esta industria, la cual es pieza fundamental para el cumplimiento de objetivos transversales del ser humano como por ejemplo la lucha en contra del calentamiento global.

En nuestro país, expandir el sector y desarrollar e implementar nuevas tecnologías para esta industria asoman como iniciativas prioritarias y urgentes.

 **Javier Silva** (Gerente Sustentabilidad - SQM)

Frente al desafío que impone el fenómeno del cambio climático resulta esencial poder reducir las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero, mediante el uso energías limpias en los diferentes procesos productivos y actividades cotidianas. La electromovilidad constituye una de las herramientas claves en la reducción de emisiones asociadas a diferentes medios de transporte, y para que esta industria se consolide como una solución de uso generalizado se requiere de una gran disponibilidad de minerales de cobre y litio.

Chile cuenta con el 47% de las reservas mundiales de litio y se ubica como el segundo productor de este mineral a nivel mundial. Nuestro país tiene la oportunidad de consolidar una posición de liderazgo en el mercado global, y para ello es imprescindible desarrollar capacidades y competencias que le permitan a esta industria alcanzar altos niveles de competitividad y sustentabilidad en el mediano y largo plazo.

