



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

E. T. S. DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Y DE INGENIERÍA DE MINAS

GRADO EN INGENIERÍA DE MINAS

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DEL MINERAL LITIO EN CHILE Y OTROS PAÍSES.

SEPTIEMBRE 2019

DIRECTOR: EMILIO TRIGUEROS TORNERO

ALUMNO: ELENA MEROÑO ESPARZA

RESUMEN

“El presente trabajo fin de grado investiga la realidad minera de una sustancia tan importante como el Litio metal. Se focaliza la atención sobre las reservas de este recurso en Chile, aprovechando una estancia “pre-grado” de la autora del documento, estudiante de Recursos Minerales y Energía, en la Universidad de Santiago de Chile.

Al litio se lo conocen diferentes denominaciones, se considera el petróleo del futuro, el “oro blanco” o “mineral maravilla”. En este trabajo se ha intentado conocer las circunstancias mineras de procesos y producción que nos permiten conocer la situación en la que Chile se encuentra, siendo uno de los países pioneros en reservas/recursos y producción de litio.

Pare ello, en este trabajo no solo se ha estudiado el país chileno, sino que se ha investigado la ubicación y las diferentes formas de extracción del litio fundamentalmente en salares, sin olvidarnos también que el litio los podemos encontrar no sólo disuelto en salmueras, como en el caso de Chile, sino que también dentro de los minerales, depósitos de pegmatita o incluso en rocas sedimentarias.

El uso del litio resulta ya imprescindible, por los importantes avances que ha permitido en diferentes campos de la industria y el transporte. Está presente tanto en cerámicas y vidrios, grasas lubricantes, tratamiento de aire, metalurgia, polímeros, productos farmacéuticos, producción primaria de aluminio, caucho sintético, industria automovilística, energía nuclear entre otros usos. En la actualidad, y por el motivo que se está investigando y apostando mucho por este mineral, lo que en el caso de las baterías está aportando resultados espectaculares.

Se ha tenido muy en cuenta que la extracción de litio puede perjudicar los ecosistemas, sobre todo a las poblaciones de aves como son los flamencos. Al bombear la salmuera, se generan dos problemas importantes. Por una parte, la gran cantidad de agua dulce que consume y por la otra, la gran concentración salina de la salmuera cuando se ha extraído el litio, quedando como un residuo difícil de gestionar.”

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo incondicional en todos mis proyectos. A mi hermano por ayudarme siempre y quererme tanto.

A mi abuela por acompañarme todos los años de mi carrera, soportar mi mal humor y aguantar mis locuras. Te quiero y estarás siempre conmigo.

A mis profesores Emilio Trigueros Tornero y Lilian Velásquez Yévenes por su paciencia conmigo.

A Manuel Cánovas Vidal que, a pesar de los años, siempre me ha ofrecido su ayuda. Un gran compañero, un gran profesional disfrutando de la vida chilena.

Gracias a todos por dejarme volar.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Objetivo general	1
1.2	Objetivos específicos	1
1.3	Marco teórico.....	1
2	HISTORIA DEL LITIO	5
2.1	Características generales del Litio.....	5
2.2	Minerales del litio.....	8
2.2.1	Espodumeno	9
2.2.2	Lepidolita	10
2.2.3	Petalita	10
2.2.4	Amblygonita.....	11
2.2.5	Hectorita	11
2.2.6	Jaradita.....	11
2.3	Sales del litio	12
2.3.1	Carbonato de litio.....	12
2.3.2	Hidróxido de litio	13
2.3.3	Cloruro de litio.....	13
2.4	Reservas, recursos y producción	14
2.4.1	Salares Preandinos: Maricunga, Pedernales, Pta. Negra.....	20
2.4.2	Salares y Lagos Andinos: La Isla, Agua Caliente Centro, Pajonales, Quisquiro, Aguilar, Tara, Parinas, Pujsa, Aguas Calientes Norte, Talar, Aguas Calientes Sur Sur.21	
2.4.3	Salares mundiales	23
2.5	Fuentes de extracción del litio.....	35
2.5.1	Mineral	35
2.5.2	Salmueras naturales.....	36
2.5.3	Depósitos pegmatita o roca dura.....	37
2.5.4	Rocas sedimentarias que contienen litio	37
2.6	Procesos productivos	38
2.6.1	Producción de hidróxido de litio a partir del mineral espodúmeno.....	40
2.6.2	Producción de carbonato de litio a partir de mineral espodúmeno	41

2.6.3	Producción de hidróxido de litio desde carbonato de litio	42
3	NORMATIVALES LEGALES	43
4	PRODUCTORES DE LITIO	43
4.1	Rockwood Lithium Limitada (Rockwood Litio Ltda, 2015)	43
4.2	Sociedad Química Minera de Chile S.A (SQM, 2015)	44
5	APLICACIONES DEL LITIO	45
6	DEMANDA DEL LITIO	46
6.1	Demanda de litio según sus derivados	46
6.2	Demanda de litio según sus aplicaciones	47
7	USOS DEL LITIO	48
7.1	Baterías de litio	48
7.1.1	Baterías primarias no recargables o también llamadas pilas de litio.	49
7.1.2	Las baterías secundarias o recargables	49
7.2	Vidrio y cerámicas	51
7.3	Grasas y lubricantes	51
7.4	Aire acondicionado y control de humedad	52
7.4.1	Metalurgia.	52
7.4.2	Polímeros	52
7.5	Farmacología / Usos médicos	52
7.6	Caucho sintético	52
7.7	Aluminio	52
7.8	Industria automovilística	53
7.9	Energía nuclear	53
7.10	Metalurgia	53
7.11	Otros usos	53
8	IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	54
9	CONCLUSIONES	55
10	BIBLIOGRAFÍA	57

Tablas

Tabla 1. Características del litio	8
Tabla 2. Recursos estimados del litio	17
Tabla 3. Prioridad de salares Preandinos y Andinos potenciales fuentes de litio. Regiones de Antofagasta y Atacama	21
Tabla 4. Composición química de salmueras del Salar de Atacama	23
Tabla 5. Aplicaciones convencional	45
Tabla 6. Aplicaciones emergentes	45
Tabla 7. Aplicaciones futuras. Cuadros creación propia	45

Ilustraciones

Ilustración 1. Salar de Uyuni	3
Ilustración 2. Grandes Salinas	4
Ilustración 3. Laguna Chaxa	4
Ilustración 4. Bonneville Salt Flats	5
Ilustración 5. Salar de Etosha	5
Ilustración 6. Estructura bbc. Grupo Metales Alcalinos	7
Ilustración 7. Espodumeno.....	9
Ilustración 8. Lepidolita	10
Ilustración 9. Petalita.....	10
Ilustración 10. Ambligonita	11
Ilustración 11. Hectorita	11
Ilustración 12. Jaradita	12
Ilustración 13. Porcentaje de reservas mundiales de Litio. USGS	15
Ilustración 14. Reservas de litio por país en TM. Informe 2018 BBVA Research y USGS ...	15
Ilustración 15. Producción mundial de litio por país en TM. Informe 2018 BBVA Research y USGS	15
Ilustración 16. Salar de Uyuni	16
Ilustración 17. Mapamund de Recursos estimados de litio. Realización propia.....	18
Ilustración 18. Distribución de salares del norte de Chile. Sernageomin Chile	19
Ilustración 19. Perfil esquemático geomorfológico salinos del norte de Chile, Sernageomin Chile	20
Ilustración 20. Salar de Atacama, Sernageomin Chile	22
Ilustración 21. Salar de Atacama, Sernageomin Chile	22
Ilustración 22. Argentina	24
Ilustración 23. Bolivia	24
Ilustración 24. Chile.....	24
Ilustración 25. Conos extractivos, Bolivia	25
Ilustración 26. Ubicación y Lago Zabuye	26
Ilustración 27. Explotación a rajo Greenbushes	27
Ilustración 28. Ubicación y explotación Val D´Or.....	28
Ilustración 29. Mina Silver Peak.....	29
Ilustración 30. Salar del Hombre Muerto	31
Ilustración 31. Salar del Rincón	32
Ilustración 32. Prospecciones mineras	32
Ilustración 34. Mina de Uranio, Salamanca	33
Ilustración 35. Plataforma Salvemos la Montaña bajo el lema: "Cañamero no es minero, es aceitunero"	34
Ilustración 36. Mina Constanza Logrosán. Geoparque Villuercas Ibores Jara.....	34

Ilustración 37. A la izquierda, con microscopio electrónico del mineral espodumeno, se observa cristal de Brasil de 12.5 cm. A la derecha, muestra de mineral extraído de Carolina del Norte, EEUU. The Georgia Mineral Society.....	35
Ilustración 38. Proceso de transformación del litio, SQM	38
Ilustración 39. Obtención de sales de litio, SQM	39
Ilustración 40. Diagrama del proceso de obtención de hidróxido de litio anhidro y monohidratado a partir de concentrados de espodúmenos. Wilkormirsky	40
Ilustración 41. Obtención de carbonato de litio desde concentrado de espodumeno mediante tostación, lixiviación y precipitaciones sucesivas. Wilkormirsky	42
Ilustración 42. Producción de hidróxido de litio monohidratado a partir de carbonato de litio técnico. Wilkormirsky	43
Ilustración 43. Proyección de demanda de litio, 2018 - 2035 (toneladas de LCE). CRU	46
Ilustración 44. Demanda de litio a nivel mundial en función de sus derivados. COCHILCO y SQM	47
Ilustración 45. Proyección de demanda de litio al 2022 según sus aplicaciones. Mercado Internacional del litio y su potencial en Chile, COCHILCO.....	47
Ilustración 46. Informe de los metales en Chile. COCHILCO	48
Ilustración 47. Compuestos de litio y participación en el mercado. COCHILCO	48
Ilustración 48. Carga y descarga de batería de lón-Litio	51
Ilustración 49. Cadena de valor del litio. Universidad Nacional de Jujuy	54

NOMENCLATURA

CChEN: Comisión Chilena de Energía Nuclear

CITIC: Agencia Gubernamental China

CNL: Comisión Nacional del Litio

COCHILCO: Comisión Chile del Cobre

Corfo: Corporación de Fomento de la Producción

CRU International Ltd: Commodity Market Analysis

CSN: Consejo de Seguridad Nuclear

CSP: Concentración solar potencia

D.O: Denominación de Origen. Producción localizada en una zona con unas características únicas y limitada en cantidades.

GNRE: Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos

EEUU: Estados Unidos

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

IGME: Instituto Geológico Minero de España

ITER: International Thermonuclear Experimental Reactor

LCE: El litio se suele denotar en toneladas de carbonato de litio (LCE) equivalente, en vez de toneladas de metal de litio. Esto se debe a que el carbonato de litio es el químico de litio de producción más común y es fácilmente "convertible" a otras formas químicas. En contraste, el metal de litio no es de producción ni de comercialización común. El uso de LCE permite informar de forma consistente y comparable a lo largo de toda la compleja cadena de valor del litio.

ROC: Rockwood Lithium Chile

SNAPE: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado

SQM: Sociedad Química Minera de Chile. Soquimich

TES: Sales fundidas para el almacenamiento térmico

UE: Unión Europea

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura

USGS: Servicio Geológico de Estados Unidos

V: Voltaje

UNIDADES DE MEDIDA

g/cc: gramos/centímetro cúbico

km²: kilómetros cuadrados

mm/año: milímetro/año

m²: metro cuadrado

mg/l: miligramo/litro

m.s.n.m: metros sobre el nivel del mar

ppm: partes por millón

VOCABULARIO

Acuíferos salobres: agua que tiene más sales disueltas que el agua dulce, pero menos que el agua del mar. Entre 0.5 y 30 gramos de sal por litro.

Antihistamínico: tipo de medicamento que ayuda a aliviar los síntomas de la alergia.

Arriendo: alquiler.

Commodity: Producto enfocado a uso comercial.

Deflagración: combustión súbita con llama a baja velocidad de propagación, sin explosión.

Detonación: combustión supersónica (superior a la velocidad del sonido) asociada a una onda de choque. Implica onda expansiva y zona de reacción.

Efecto memoria: fenómeno que reduce la capacidad de baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo.

Evaporadores de triple efecto: aparato que usa calor procedente del vapor para evaporar agua de forma eficiente. El agua se hierve en una secuencia de vasos y cada uno con una presión menor al anterior.

Exotérmico: proceso o reacción que produce desprendimiento de calor.

Explosión: liberación simultánea de energía calórica, lumínica y sonora.

Higroscópico: capacidad que poseen algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en el que se encuentran.

Humedal: zona de tierra, generalmente plana cuya superficie se inunda de manera permanente o interminable.

Litio equivalente: Se refiere a la medida de equivalencia entre litio metálico y carbonato de litio. La fórmula es: $1\text{kT de Li} = 5,28\text{kT LCE}$.

Lixiviación: proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

Minado (minar): Abrir caminos o galerías bajo tierra.

Minerales estratégicos: Esta es una lista redactada por la UE presentada por primera vez en 2008 y actualizada en 2014 sobre las materias primas fundamentales. La finalidad es determinar las materias primas que presentan un riesgo elevado de escasez de suministro y gran importancia económica y de esta forma ayudar a garantizar un suministro seguro, sostenible y asequible. Es una herramienta realista para contribuir a las medidas comerciales, industriales y de innovación destinadas a reforzar la competitividad.

Napas: capa o manto subterráneo de agua u otro líquido, o de cualquier materia gaseosa.

Ósmosis inversa: tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar partículas, moléculas e iones más grandes en el agua potable aplicando una presión para vencer osmótica.

Prolijo: minucioso, detallado.

Recurso geológico: concentración mineral que se identifica y se estima a través de una exploración y muestreo siendo usado un modelo geocientífico.

Recurso inferido: parte del recurso que ha sido determinado a partir de indicaciones geológicas y de una continuidad geológica supuesta pero no verificada, donde las informaciones recogidas permiten estimar una serie de variables.

Recurso mineral: Recurso geológico con interés económico sustentado por un plan minero y con perspectiva razonable de una eventual explotación.

Reserva: subconjunto del recurso mineral que es extraíble de acuerdo a un plan minero sustentable técnica y económicamente inserto en un escenario productivo.

Salmuera: son depósitos de litio, acumulaciones de agua subterránea salina enriquecida con litio disuelto.

Solución: mezcla homogénea de dos o más sustancias.

Tostación ácida: tratamiento en caliente con ácido sulfúrico.

Vitivinícola (viticultura): ciencia del cultivo de la vid.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo general

“El objetivo principal de este trabajo consiste en recopilar información sobre el litio en Chile, y sobre otros países donde también se puede encontrar litio. Este estudio comprende: reservas, explotación, producción, sales del litio, aplicaciones, industria, mercado, e innovación. Se da a conocer la importancia cuantitativa que supone esta explotación minera.”

1.2 Objetivos específicos

“Para ese objetivo se han cubierto las siguientes tareas, como objetivos parciales:”

- Construir una base de datos de las plantas de extracción de litio existentes en el mundo y en Chile.
- Estudiar las normativas legales que regulen la explotación de litio en Chile.
- Estudiar los procesos de extracción del litio.
- Identificar los productos y subproductos del proceso de extracción del litio.
- Estudiar los avances e innovaciones que se puedan introducir en el actual proceso del litio.
- Identificar mercado del litio en el mundo.

1.3 Marco teórico

La economía del país de Chile siempre ha estado determinada por el mineral cobre, aunque siendo afectada por una disminución del precio de éste, que ha sido durante mucho tiempo el principal producto de exportación del país. Esto generó que Chile buscara otro medio de desarrollo, actualmente centrado en el producto del litio. (Universidad de Antofagasta, 2016)

Varios países han puesto sus ojos en este metal, gracias a la crisis que ha enfrentado la industria minera y petrolera a nivel mundial. El litio se posiciona como un nuevo mercado en el que muchos quieren participar y beneficiará las finanzas de la región. (IG Chile, 2016).

El objetivo principal de este trabajo consiste en recopilar información sobre el litio en Chile, y sobre otros países donde también se puede encontrar litio. Este estudio comprende: reservas, explotación, producción, sales del litio, aplicaciones, industria, mercado, e innovación.

Centrándonos en el contexto, ya no solo de Chile, si no de Sudamérica, vamos a trabajar con unos datos actuales y cómo se proyectan estos países en el futuro. En el periódico británico *Financial Times*, en un reportaje publicado en abril del 2018, se nombraba la estrategia que Chile iba a aplicar para aprovechar los recursos de litio que tiene el país, haciendo un llamado internacional a empresas que pretendan desarrollar productos en relación al litio para que se instalasen en el país y ofreciendo el 25% de la producción al costo más barato del mercado. A su vez el gobierno argentino estudia el objetivo de triplicar su producción de carbonato litio

para el 2019 y tener mejoras para atraer a empresas con la finalidad de extraer el mineral evaporítico. Actualmente, Argentina se ha colocado igualado a Bolivia en cantidad de recursos de litio. Bolivia, por su lado, bajo un prototipo de industrialización del litio y habiendo superado esta fase de prueba, busca la producción de cloruro de potasio y carbonato de litio.

La zona comprendida entre Argentina, Chile y Bolivia, los expertos la conocen como el “Triángulo del litio”.

El gerente de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), Juan Montenegro, asegura que Bolivia se encuentra liderando el proceso industrial de la región, ya que Chile y Argentina no cuentan con dichos avances de industrialización.

El economista experto en litio, Juan Carlos Zuleta Calderón, apunta que “Ni Chile ni Bolivia ni Argentina tienen avances significativos en este cochoiterna y es una verdadera lástima. Ninguno ha tomado con absoluta seriedad su industrialización”. Según el experto, la investigación debe ir acompañada de un proceso de desarrollo para industrializar las regiones.

Argentina, como se nombró anteriormente, igualó a Bolivia en reservas de litio con 9 millones de toneladas métricas de contenido metálico. Dato obtenido del Servicio Geográfico de Estados Unidos. Para Zuleta, Argentina ha avanzado en exploración geológica, por lo que se ve reflejado en las empresas que están presentes en aproximadamente 30 operaciones de litio.

Lithium Americas se asoció en 2018 con Ganfeng Lithium para construir una planta en Argentina, que estará operativa a mediados de 2019 y, según se anuncia, producirá 25 mil toneladas por año, un volumen que representará más del 85% de la producción actual de Argentina, según informa el portal de noticias Telam.

La minera australiana Orocobre planea expandir su producción en el Salar de Olaroz, Jujuy, a 17.500 toneladas este año, y llevarla a 35.000 para fines de 2018.

Argentina produce 29 mil toneladas de carbonato de litio por año, cerca del 15% de la producción global, que alcanza unas 200 mil toneladas anuales.

Chile cuenta con 7.5 millones de toneladas métricas de litio de contenido metálico. Sin embargo, Chile se diferencia de los otros dos países pertenecientes al “Triángulo del litio”, porque no solo cuenta con recursos identificados de litio, sino con reservas.

Zuleta destaca de Chile que ha dado un paso adelante, ya que cuenta en comparación a sus países vecinos 1.5 millones menos recursos, pero 7.5 millones es el dato que tienen tanto para recursos y reservas. Y resalta la importancia de las condiciones climatológicas para producir litio mediante los métodos tradicionales.

Recientemente la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (Corfo) firmó un acuerdo para elevar la producción de litio de las 25 mil toneladas anuales que registraba hasta 2015 a 80 mil.

Bolivia tiene planeado ingresar en la fase de industrialización del litio del Salar de Uyuni. Para este proyecto se estima un aporte de 350 millones de dólares, marcando la diferencia con los países vecinos, ya que está impulsado por el estado boliviano sin la llegada de empresas transnacionales para la explotación de los recursos, estimando ventas por 1.500 millones de dólares para el año 2020, según el experto Juan Montenegro.

Contraria a esta opinión, Zuleta afirma que la estrategia del gobierno boliviano no es la de industrializar, ya que no transforma materias primas en bienes intermedios o finales.

Montenegro informa de que se inscribieron 12 patentes de personal técnico y científicos bolivianos como obtención de sales, de carbonato de litio y proceso de purificación del carbonato de litio.

Los productos alcanzaron 9.3 millones de bolivianos durante el 2016, según aseguró Montenegro, basándose en venta de miles de toneladas de cloruro de potasio (venta al mercado interno), 26 toneladas de carbonato de litio (venta a Asia, mayoritariamente China) y alrededor de 300 toneladas de cloruro de magnesio. Y defiende que para el 2020 se llegará a la producción integral de la industrialización, a través de las baterías de litio. (Los Tiempos, Economía, 2017)

Se van a describir brevemente los cinco salares más grandes del mundo.

i) Salar de Uyuni. Bolivia.

Ubicado en el altiplano boliviano, en la región de Potosí. Tiene una extensión de 12.000 km² y produce anualmente 10.000 millones de toneladas de sal, siendo también una reserva importante de sales como litio (Li) y sodio (Na). En su centro encontramos la Isla del Pescado con cactus de hasta diez metros de altura. (National Geographic, 2017).



Ilustración 1. Salar de Uyuni

ii) Grandes Salinas. Argentina.

Se sitúa a 4.000 metros de altura en la zona septentrional de este país, y con unas dimensiones de 8.200 km². Sus límites se encuentran entre las provincias de Salta y Jujuy. Es recomendable visitar el salar en épocas de lluvia, ya que su superficie blanca adquiere tonos turquesa. En las zonas cercanas viven las familias que se dedican a la extracción de sal y explican el proceso a los visitantes.



Ilustración 2. Grandes Salinas

iii) Salar de Atacama. Chile.

En el norte de Chile, en la región de Antofagasta, encontramos otra gran superficie salina de 3.000 km². Atacama es el hogar de aves andinas y aloja la Reserva Nacional de los Flamencos que tiene la laguna Chaxa. Este salar es también una de las mayores reservas de litio del mundo.



Ilustración 3. Laguna Chaxa

iv) Bonneville Salt Flats. Estados Unidos.

Hace millones de años había un lago enorme y actualmente ahora se encuentra el Salar de Bonneville. Se ubica en Utah y tiene una superficie de 412 km², siendo uno de los lugares más importantes del mundo. Bonneville es también conocido por las carreras de coches que cruzan la gruesa capa de sal a unas velocidades superiores a los 600 km/h.

En el mismo estado de Utah también encontramos *Great Salt Lake* con una salinidad mayor a la del mar.



Ilustración 4. Bonneville Salt Flats

v) Salar de Etosha. Namibia.

Más de 6 km² de una gran superficie blanca que ocupa parte del Parque Nacional de Etosha. Un lago de gran extensión y muy blanco, debido a la concentración de sal, con espejismos y siluetas de mucha variedad de animales en busca de agua a las orillas del salar.



Ilustración 5. Salar de Etosha

2 HISTORIA DEL LITIO

2.1 Características generales del Litio

El litio fue descubierto por Johan August Arfvedson en 1817 en Estocolmo, Suecia. Fue durante un análisis de mineral de petalita $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_5)$ tomada en la isla sueca de Utö. El mineral petalita fue descubierto por el científico brasileño José Bonifácio de Andrada e Silva hacia finales del siglo XVIII durante su visita a Suecia. Posteriormente Arfvedson descubrió litio en los minerales spodumene y lepidolita.

El nombre del litio, proviene de la palabra griega “lithos” que significa “piedra”, ya que se descubrió a partir de una fuente de minerales mientras que otros elementos del grupo 1 como el sodio y el potasio, se descubrieron a partir de fuentes vegetales.

Christian Gmelin observó en 1818 que las sales del litio daban un rojo brillante en las llamas, sin embargo, ni Gmelin ni Arfvedson fueron capaces de aislar el elemento en sí a partir de sales de litio, por ejemplo, con intento de reducciones calentando el óxido de hierro o con carbono.

El primer aislamiento de litio elemental, en 1821, se logró por William Thomas Brande y Sir Humphrey Davy por la electrólisis de óxido de litio. En 1855, Bunsen y Mattiessen aislaron grandes cantidades del metal por electrólisis de cloruro de litio en un crisol de porcelana, usando un fino hilo como cátodo y una varilla de carbón como ánodo. Desde entonces no existe mucha información al respecto como lo hay del mineral.

En 1923 se dio la primera producción comercial de litio metálico se logró en Alemania usando la electrólisis de una mezcla fundida de cloruro de litio y cloruro de potasio. (Literatura química del Litio, 2015).

El litio es el tercer elemento del Sistema Periódico, después del hidrógeno y el helio, siendo el primer elemento del grupo de los metales alcalinos. En la naturaleza existe sólo combinado en la forma de minerales de litio y mayoritariamente en salmueras. (CNL, 2014). Es un metal blanco plateado, relativamente blando y el más liviano de todos los metales (ligeramente más duro que el sodio, pero más blando que el plomo). El litio mezclado con el magnesio resulta una aleación altamente resistente que puede ser utilizada en chalecos antibalas o placas de blindaje (Millas).

El peso atómico del litio es 6.941 g/mol y presenta dos isótopos estables, el isótopo 6 (7.4%) y el isótopo 7 (92.6%). Posee propiedades físicas y químicas de carácter singular, por una parte, su densidad de solo 0.534 g/cm³, lo que junto a su alto potencial electroquímico de 3.045 Volt., lo convierte en el componente preferido para las baterías recargables de alta densidad energética, siendo su punto de fusión de 180.5°C y el de ebullición de 1.336 °C.

La estructura cúbica centrada en el cuerpo, es la forma más estable para el litio metal a 298K (25 °C). En condiciones normales, todo el Grupo 1 de metales alcalinos se basa en la estructura *bcc*. En la *red bcc*, cada átomo de litio está rodeado por otros ocho átomos, que en conjunto forman una estructura cúbica (Nadler & Kempfer, 1959). A continuación, podemos observar la estructura del litio.

La facilidad con la cual el litio cede su electrón exterior (número atómico 3 y siendo su configuración electrónica $1s^2 2s^1$), determina que sea un agente reductor súper potente y, como tal, reacciona velozmente con los agentes oxidantes menos potentes, por ejemplo, reacciona con el nitrógeno a temperatura ambiente para formar el nitruro de litio (Li_3N), con el oxígeno del aire reacciona rápidamente formando el óxido de litio (Li_2O) y con el flúor genera la reacción más violenta de todos los elementos. Debido a estas propiedades el litio encuentra aplicaciones en sistemas de muy alta generación de energía electroquímica como las baterías de litio-cloro o de litio-azufre y varios otros tipos de pilas.

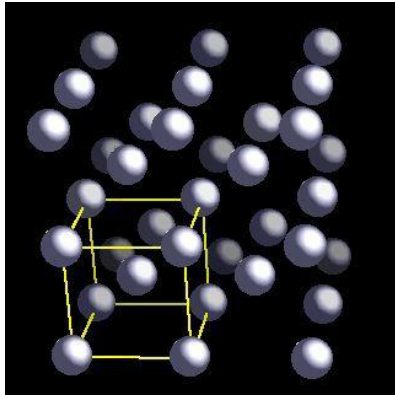


Ilustración 6. Estructura abc. Grupo Metales Alcalinos

El litio ocupa la posición número treinta y dos entre los elementos de la corteza terrestre con una concentración promedio de aproximadamente 20 ppm, lo cual le confiere la característica de un metal escaso, sin embargo, se encuentra en numerosos minerales debido a la gran reactividad química que presenta. También se encuentra presente en el agua de mar y sus reservas están mayormente alojadas en salares, rocas y arcillas.

El mineral de litio siempre se halla junto a otros minerales tales como el magnesio, potasio y boro. El litio se encuentra presente en el planeta en diferentes especies mineralógicas tales como el espodumeno $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$, el cual es un silicato de aluminio y litio, que generalmente se encuentra mezclado con cuarzo, feldspatos y micas y su contenido teórico de litio es de 3,73%.

Otros minerales que se explotan son la petalita y la lepidolita, estos dos minerales se pueden encontrar asociados a minerales pegmatíticos y son utilizados ambos como fuente de litio.

Otra fuente potencial de obtención de litio es la hectorita, la cual es un mineral arcilloso y que aún no es explotado a gran escala por razones económicas, ya que el contenido de litio no supera el 0,5%, sin embargo, son muy abundantes, en particular en los Estados Unidos (Wilkomirsky, 2008)

CARACTERÍSTICAS	LITIO
Número atómico	3
Símbolo químico	Li
Año descubrimiento	1817
Grupo	Metales Alcalinos
Densidad	0.534 g/cm ³
Peso atómico	6.941 g/mol
Potencial electroquímico	3.045 Volt.
Punto fusión	180.5°C
Punto ebullición	1.336°C
Estructura cristalina	Cúbica centrada en el cuerpo
Fuentes de litio	Salmueras, Minerales y Agua de mar
Productos de litio	Carbonato de litio, Hidróxido de litio, Cloruro de litio

Tabla 1. Características del litio

2.2. Minerales del litio

El litio se puede encontrar de diferentes formas en la naturaleza bien como salmueras, minerales, agua de mar o geysers. Es posible encontrarlo en 145 minerales distintos, de los cuales no todos son considerados para su extracción, ya que no son rentables económicamente. (Mineralogy Database, 2015).

Los minerales del litio que son comercialmente explotadas son las pegmatitas graníticas, fuente de metales raros como estaño, tántalo, niobio, berilio, cesio, rubidio, escandio, torio, uranio y tierras raras (London 2008 a,b). Cuando el litio es el metal raro dominante, son necesarios aproximadamente de 0.6% de Li₂O (0.28% Li), para una extracción económica. (Pandey, 2014)

Los yacimientos de pegmatita se encuentran cercanos a la superficie, lo que facilita su explotación y se puede realizar por métodos de rajo abierto. El tratamiento de estos minerales se realiza de la siguiente forma, pudiendo aplicárseles perforación y tronadura para su extracción, después pasa a unos chancadores, moliendas y son clasificados para después ser separados magnéticamente o por flotación para producir concentrados de espodumeno, petalita o lepidolita. Seguido de esto, se realiza el filtrado, lavado y secado del concentrado. Otro mineral de pegmatita es la ambligota. (Cochilco, 2013).

Los minerales arcillosos que contienen litio son la hectoria y jadarita. (Lagos, 2012).

A continuación, vamos a describir los minerales más importantes.

2.2.1 Espodumeno

Mineral de la clase de los silicatos y como subclase pertenece a los inosilicatos. Descubierto en 1800 y su composición química es: 3.73% de litio, 14.5% de aluminio, 30.18% de silicio y 51.59% de oxígeno. Existen dos variedades de minerales, Kunzita (color rosa) y Hiddenita (color verde esmeralda y transparente). Se encuentra casi exclusivamente en pegmatitas ricas en litio y su uso es como fuente de litio y como material de joya.

Históricamente fue el primer recurso explotado para producir litio a escala industrial, pero solo se extrae en algunos lugares, sobre todo en Greenbushes, Australia, como subproducto de tierras raras (Grosjean et al., 2012).

Sus yacimientos son escasos, en ocasiones puede formar cristales muy grandes, por ejemplo, en la mina Eta. Black Hills, Dakota del sur en Estados Unidos se han encontrado cristales de hasta 12 metros de longitud y pesando varias toneladas (Cornelis & Cornelius, 1996). Otros yacimientos se encuentran en Suecia (Isla Utö), Afganistán, Escocia (Petershead), Irlanda (Killiney), Madagascar, Zimbabue (Bikita), Brasil (Minas Gerais), Estados Unidos (Connecticut – Branchville), entre otros. Para la variante Kunzita sus yacimientos se encuentran en Estados Unidos (California, San Diego) y Myanmar (Birmania). Mientras que para la Hiddenita se encuentran yacimientos en Estados Unidos (Carolina del Norte – Stony Point, California), Brasil, Madagascar y Myanmar (Susaeta Ediciones, 2006; Mineralogy Database, 2015; Spodumene, 2015).



Ilustración 7. Espodumeno

2.2.2 Lepidolita

Mineral perteneciente a la familia de los silicatos y subclase de los filosilicatos, grupo micas. Se puede encontrar asociado a las pegmatitas graníticas y su composición química varía en función de las cantidades de litio y aluminio que contenga. En litio contiene 3.58%. Se utiliza como fuente de litio. Encontramos yacimientos en Alemania (Penig), República Checa, Brasil (Minas Gerais), Italia (Isla de Elba), Mozambique, Japón, antigua URSS (Susaeta Ediciones, 2006; Mineralogy Database, 2015).



Ilustración 8. Lepidolita

2.2.3 Petalita

Mineral perteneciente al grupo de los silicatos y subclase filosilicatos. Fue descubierto en 1800. Su composición es: 2.09% de litio, 8.75% de aluminio, 36.72% de silicio y 52.43% de oxígeno. Su uso es como fuente de litio y piedra fina y sus yacimientos están ubicados en Estados Unidos, Afganistán, Namibia (Karibib), Argentina (Salta), Perú, Brasil, Republica Checa, Australia, entre otros (Susaeta Ediciones, 2005; Mineralogy Database, 2015).

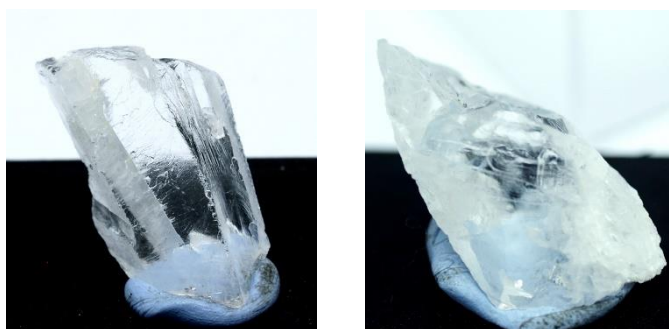


Ilustración 9. Petalita

2.2.4 Ambligonita

Mineral del grupo fosfatos y se asocia en pegmatitas graníticas ricas en litio y fosfato. Su contenido en litio es del 3.44%. Su uso es como fuente de litio o como piedra fina y su composición va sujeta a Li:Na y P:OH. Sus yacimientos son escasos, entre ellos están Francia, República Checa, Madagascar, Namibia, Suecia, Estados Unidos, Brasil, Argentina, Afganistán. (Susaeta Ediciones, 2005; Mineralogy Database, 2015).



Ilustración 10. Ambligonita

2.2.5 Hectorita

Mineral de la clase de los silicatos y perteneciente como subgrupo a los filosilicatos. Fue descubierto en 1941 y es un mineral de arcilla de alto contenido en sílice. Delitio contiene 0.54%. Su utilidad es como fuente de litio. Y sus yacimientos son muy escasos, como por ejemplo en Estados Unidos (California, Nevada, Arizona, Utah), Namibia (Karibib) y Brasil. (Mineralogy Database, 2015).



Ilustración 11. Hectorita

2.2.6 Jaradita

Pertenece al grupo de los silicatos y como subgrupo nesosilicatos, fue descubierto en el año 2006, en Serbia, siendo el único conocido actualmente. Su porcentaje de litio es de un 3.38. (Mineralogy Database, 2015).



Ilustración 12. Jadarita

Aunque la principal producción del litio no proviene de los minerales son una parte importante para la industria. En 2008, un tercio de la producción en forma de químicos de litio, provenía de yacimientos pegmatíticos en forma de concentrados, sobretodo espodumeno, por ejemplo, el yacimiento Greenbushes en Australia. (Lagos, 2012).

2.3. Sales del litio

2.3.1 Carbonato de litio

Para su producción, el primer paso es la remoción de impurezas de la salmuera para luego someterla a una conversión química para formar el Li_2CO_3 . Este vuelve a ser purificado y modificado para ser convertido en distintas clases de carbonato, dependiendo de la aplicación final, es embalado y enviado a sus destinos. Según la fuente de carbonato de litio puede estar presente en cuatro formas distintas:

2.3.1.1 *Carbonato de litio cristalizado*: Este proceso se utiliza en variados productos como cerámicas, esmaltes vítreos, vidrio cerámico, polvo para la colada continua del acero y en la elaboración de derivados del litio.

2.3.1.2 *Carbonato de litio granulado*: Este producto es principalmente usado en la fundación de aluminio.

2.3.1.3 *Carbonato de litio en polvo*: Este producto es adecuado para aplicaciones que requieren un tamaño de partículas reducido.

2.3.1.4 *Carbonato de litio grado batería*: Este producto tiene un tamaño de partícula promedio mucho más reducido, lo que hace apropiado para la producción de material de cátodos para baterías de Ion-Litio y otras aplicaciones específicas. (SQM, 2014)

Rockwood Lithium produce carbonato de litio en Antofagasta (Chile) y en Nevada (EEUU), a partir de salmueras de litio que existen en la naturaleza. Además de los

grados técnicos de carbonato, Rockwood Lithium produce carbonato de litio como ingrediente farmacéutico activo (API), así como carbonato grado batería para la industria de las baterías.

2.3.2 Hidróxido de litio

Según la fuente de hidróxido de litio puede estar presente bajo cuatro formas distintas:

2.3.2.1 *Hidróxido de litio industrial*: Este producto se utiliza en una variedad de productos como grasas lubricantes, colorantes, baterías y en la elaboración de derivados de litio.

2.3.2.2 *Hidróxido de litio grado industrial húmedo*: Este grado industrial húmedo utilizado para minimizar las emisiones de polvo durante su manipulación.

2.3.2.3 *Hidróxido de litio grado técnico*: Este grado técnico es adecuado para aplicaciones que requieren menores niveles de impurezas.

2.3.2.4 *Hidróxido de litio grado técnico revestido de aceite*: Este grado técnico revestido es utilizado para minimizar las emisiones de polvo durante su manipulación (SQM, 2014)

Rockwood Lithium produce hidróxido de litio de grado técnico en los Estados Unidos y Alemania. La nueva planta de Carolina del Norte (EEUU), está dedicada, sobretodo, a abastecer la industria de baterías. (Rockwood Lithium, 2015)

2.3.3 Cloruro de litio

Su producción comienza con la remoción de impurezas que son separadas mediante procesos de extracción por solventes. El magnesio se separa como hidróxido por reacción con cal pegada y posteriormente se separan las impurezas restantes, como el sodio, calcio y sulfato. Una vez que la salmuera está purificada, es traspasada a un cristizador específicamente diseñado donde se lleva el pH de este líquido a niveles neutros para luego cristalizarlo por medio de la inyección de vapor. Finalmente, estos cristales se separan por centrifugado, se secan y se empacan.

SQM produce cloruro de litio en solución con una concentración de 30,5% de LiCl. Rockwood Lithium produce cloruro de litio en Chile, Estados Unidos y Alemania. (Rockwood Lithium, 2015)

2.4 Reservas, recursos y producción

Debido a su potencial electroquímico, el litio se emplea para almacenar energía. Por ello, el 60 por ciento de los teléfonos móviles y el 90 por ciento de los ordenadores portátiles que se encuentran en el mercado mundial tienen una batería de iones de litio. (EAbolivia, noticiero digital, 2017)

En un futuro cercano, esta materia prima también será requerida en mayores proporciones para poner en marcha la industria automotriz del futuro con la construcción de más autos eléctricos. (EAbolivia, noticiero digital, 2017)

Se publicó en la revista Área Minera un artículo con el titular: "Directorio de Codelco aprueba crear una filial para explorar y explotar el litio". Este artículo reveló un dato importante donde decía que Chile ya no era el primer productor de litio.

Chile ha pasado a ser el segundo productor del litio en el mundo con un 34% de la participación detrás de Australia con un 37%, según los datos que entregó la ministra de Minería, Aurora Williams. En Chile el litio está presente en forma de salmuera y en Australia en roca. (Área Minera, 2017).

Hay que definir dos términos necesarios para entender las diferencias a lo largo de esta tesis. Estos conceptos son *recursos geológicos* y *reservas*.

Los *recursos geológicos* son concentraciones minerales que se identifican y se estiman a través de exploraciones y muestreos, siendo estimados usando modelos geocientíficos. Cuando estos recursos geológicos presentan interés económico sustentado por un plan minero y con una perspectiva razonable de una eventual explotación, se le llama *recursos minerales*. (Codelco Memoria, 2016)

Las *reservas* son el subconjunto del recurso mineral que es extraíble de acuerdo a un plan minero sustentable técnica y económicamente, inserto en un escenario productivo. (Codelco Memoria, 2016)

De los datos más actualizados que se han encontrado, obtenemos este gráfico sobre las reservas del litio a nivel mundial. Entre Chile, Bolivia y Argentina contienen el 60% de las reservas. Aunque no debemos de olvidarnos de países productores como Australia, Canadá, Zimbawe, Brasil y Portugal. (USGS).

Reservas de Litio Mundiales TM

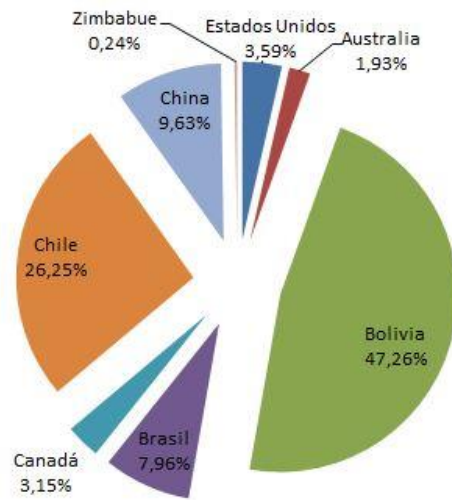


Ilustración 13. Porcentaje de reservas mundiales de Litio. USGS

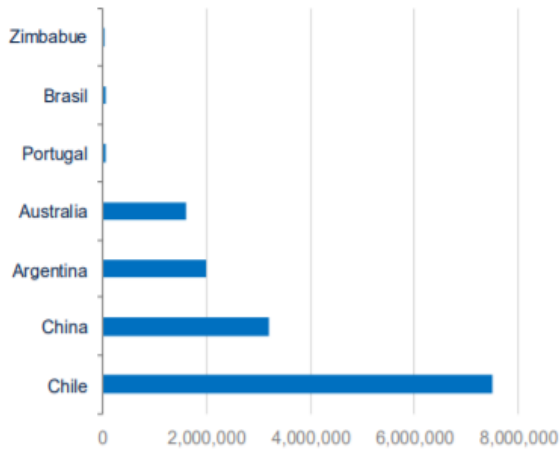


Ilustración 14. Reservas de litio por país en TM. Informe 2018 BBVA Research y USGS

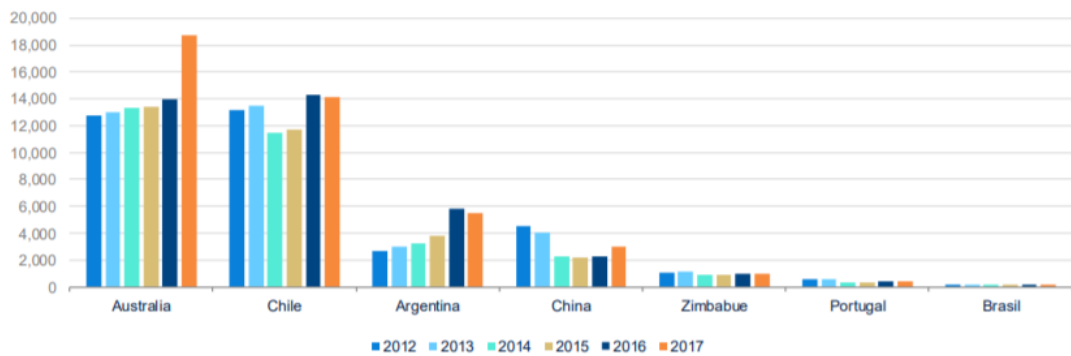


Ilustración 15. Producción mundial de litio por país en TM. Informe 2018 BBVA Research y USGS

Bolivia es el país que posee el mayor yacimiento de Litio, en el Salar de Uyuni, pero posee un importante problema, el litio de la zona está mezclado con magnesio y los insumos para separar los metales son muy costosos, lo que eleva los costos de producción. (IG Chile, 2016).



Ilustración 16. Salar de Uyuni

Chile ha liderado la producción mundial del litio durante bastante tiempo al poseer el 33% de la oferta total, pero como ya se dijo anteriormente Australia le quitó el puesto. Sin embargo, Argentina está apostando por la inversión extranjera y el puesto de Chile de productor mundial podría ponerse en juego. (IG Chile, 2016)

No hay que olvidar que en febrero pasado Corfo y Rockwood Litio Ltda., suscribieron un acuerdo con el objetivo de desarrollar tecnología y aumentar la producción de Carbonato de Litio (Grado necesario para las baterías) en el Salar de Atacama. (IG Chile, 2016)

El acuerdo estipula que Rockwood invierta en los próximos cuatro años entre US\$ 400 y US\$ 600 millones, de modo de aumentar la producción de 24 mil toneladas a 70 mil toneladas y desarrollar la tecnología necesaria para producir en Chile 5 mil toneladas de Hidróxido de Litio del Salar de Atacama. (IG Chile, 2016).

Chile y Australia son los dos más importantes productores mundiales, mientras que los mayores centros de consumo del litio se encuentran en Asia, en países como China, Corea y Japón. (Minería Chilena, 2016).

A continuación, se adjunta un cuadro de los recursos estimados del litio. Datos obtenidos de COCHILCO, 2013, creación propia.

PAÍS	MILLONES DE TONELADAS
Bolivia	8.90
Chile	8.04
Argentina	7.09
China	5.15
EEUU	1.67
Australia	1.52
Congo	1.15
Serbia	1.05
Rusia	1.00
Canadá	0.74
Brasil	0.10
Zimbawe	0.06
Austria	0.05
Portugal	0.01
Otros	0.20
Total	36.72

Tabla 2. Recursos estimados del litio

Se adjunta un mapamundi para que sea más visual la ubicación de los países que contienen litio.

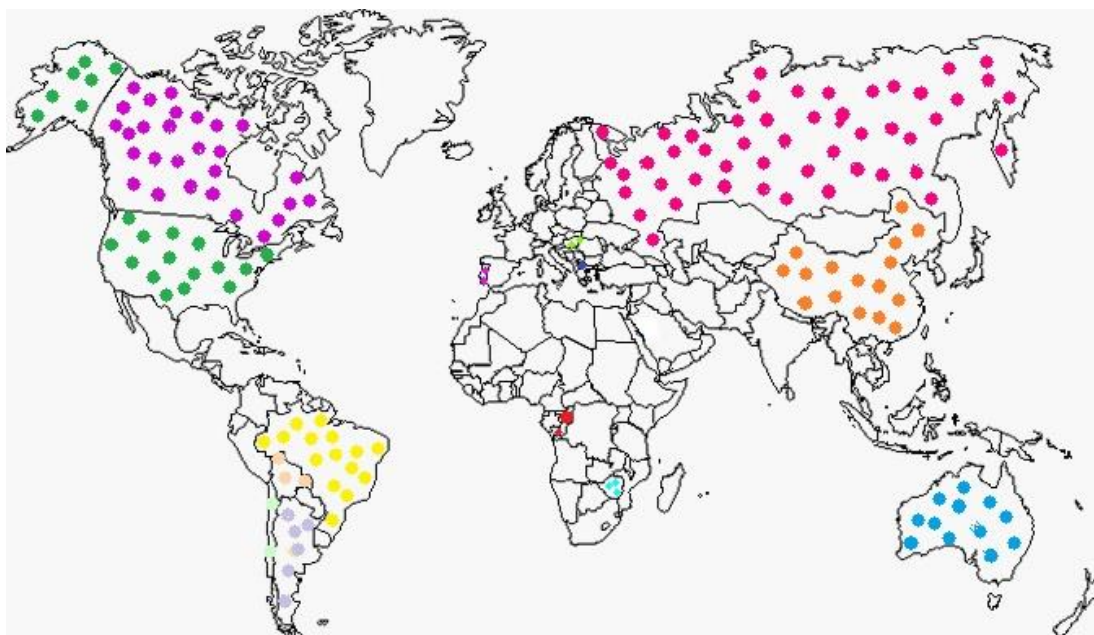


Ilustración 17. Mapamundi de Recursos estimados de litio. Realización propia

Centrándonos en nuestro lugar de estudio que sería más concretamente Chile, destacamos y explicamos un poco a fondo los salares del norte de este país y el de mayor extensión y contenido: El Salar de Atacama.

Los depósitos salinos continentales del norte de Chile, son compuestos de litio, potasio, boro y sodio, de interés económico. (Sernageomin Chile, 2010)

La ubicación es en el norte del país desde la Región Arica y Parinacota hasta Atacama, cubriendo un área de 25.000 km², entre 1.000 y 5.000 m s.n.m clasificados en salares de la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, Preandinos y Andinos. Los salares de principal interés para su explotación son los Preandinos y Andinos con compuestos de potasio y boro, y los de explotación de litio y potasio se encuentran en el Salar de Atacama. (Sernageomin Chile, 2010)

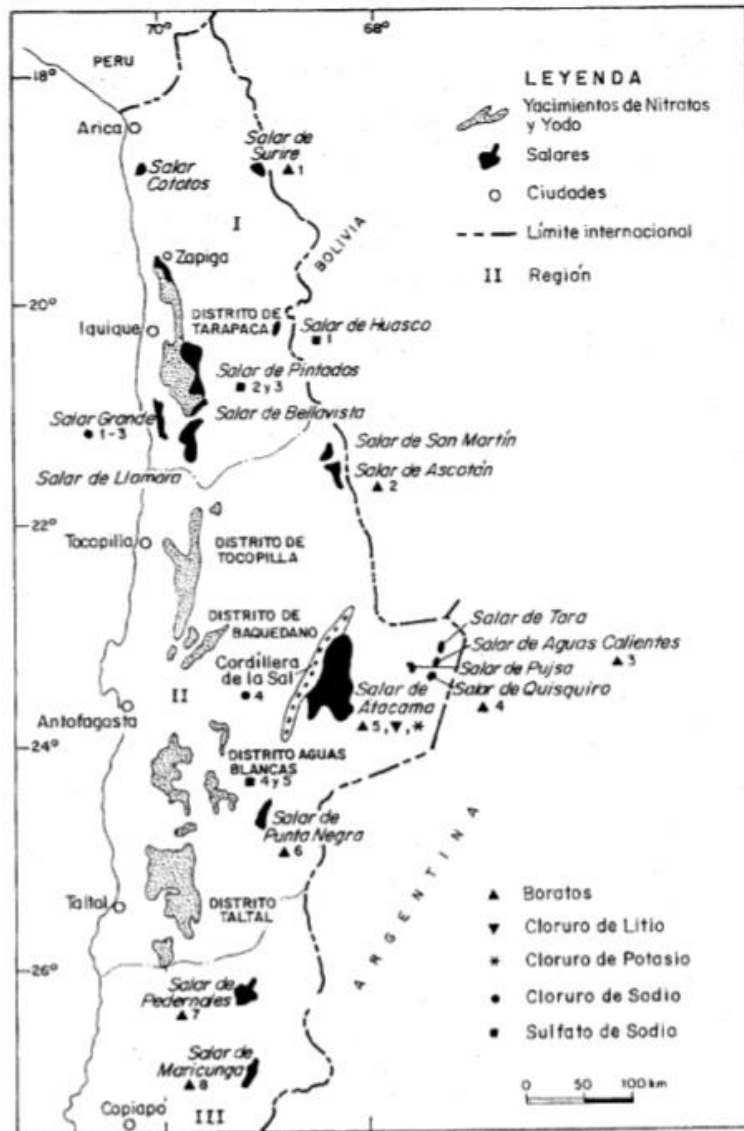


Ilustración 18. Distribución de salares del norte de Chile. Sernageomin Chile

-FACTORES DETERMINANTES EN LA FORMACIÓN DE SALARES:

- Tectónica: determina el establecimiento de cuencas cerradas (endorreicas).
- Volcanismo del Cenozoico: aporta los componentes químicos mediante lixiviación de rocas volcánicas y actividades fumarólica.
- Clima árido a semiárido: favorece la deposición de los compuestos salinos mediante una alta tasa de evaporación (10 l/m²/día en el Salar de Atacama) hacia el Altiplano se reduce y aumenta la pluviosidad.

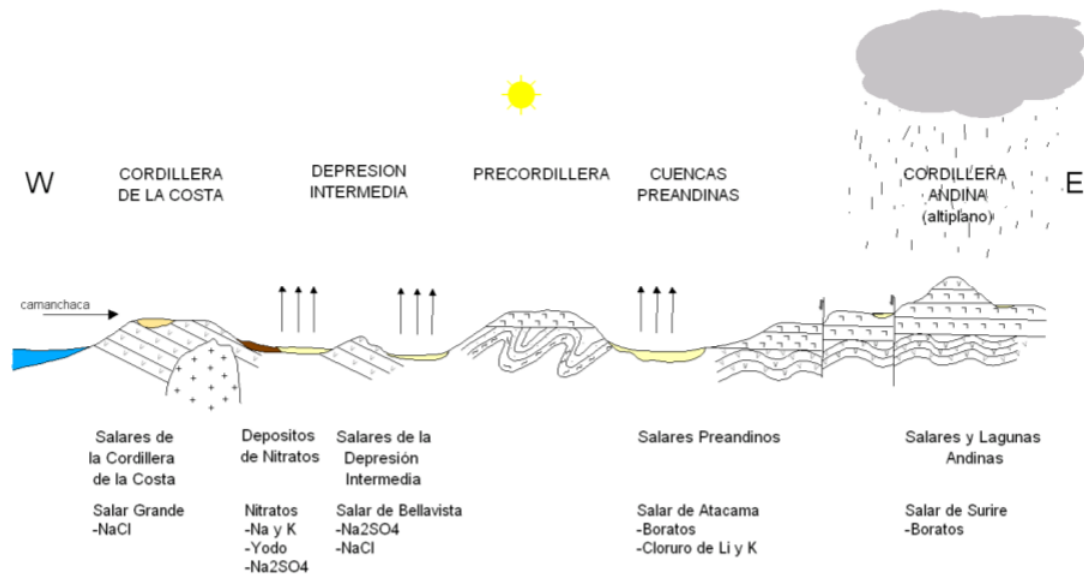


Ilustración 19. Perfil esquemático geomorfológico salino del norte de Chile, Sernageomin Chile

2.4.1 Salares Preandinos: Maricunga, Pedernales, Pta. Negra.

Están localizados en cuencas preandinas alineadas en dirección N-S al oriente de la Precordillera a unos 2.500-3.000 m s.n.m. Son los más antiguos salares activos con costras salinas bien desarrolladas y salmueras con alta concentración de sólidos disueltos sobresaturadas en cloruro de sodio. La recarga de las aguas superficiales y subsuperficiales altamente concentradas, provienen de la Cordillera Andina. (Sernageomin Chile, 2010)

Forman el mayor el depósito del recurso del litio en salares y permiten su extracción con menores costos a nivel mundial. Sus salmueras contienen sodio, potasio, litio, magnesio, calcio, cloruros, sulfatos y boratos, principalmente. (Universidad de Antofagasta).

Se calculan reservas entre los 6.0 y 6.7 millones de toneladas de Li para el área de operaciones de la empresa SQM Salar. En los salares de Maricunga y Pedernales, la Corporación del Cobre (Codelco) es titular de las concesiones mineras. Se ha estimado que existen 56.000 toneladas de Li y 330.000 toneladas de K en Maricunga y 21.000 toneladas de Li y 235.000 toneladas de K en Pedernales. En 1982, Corfo estimó 224.000 toneladas de Li y 1.717.000 toneladas de K en el núcleo salino de 70 km² del Salar de Maricunga. (CNL).

En estos salares se extrae líquido, salmuera, y no como pasa en minería metálica y no metálica tradicional que es sólido. La salmuera debe ser extraída por bombeo

desde la costra salina del salar para iniciar el proceso y obtener los recursos de interés comercial. (CNL).

Hay otra característica de la explotación y es el impacto en todo el salar, debido a la extracción de salmueras y es que puede afectar a los recursos hídricos de alrededor (lagunar y medio biótico). (CNL)

2.4.2 Salares y Lagos Andinos: La Isla, Agua Caliente Centro, Pajonales, Quisquiro, Aguilar, Tara, Parinas, Pujsa, Aguas Calientes Norte, Talar, Aguas Calientes Sur Sur.

Están localizados en cuencas controladas por el volcanismo Pliocuaternario en la Alta cordillera Andina y Altiplano, a más de 3.500 m s.n.m y afectados por la pluviosidad. Son los depósitos salinos más jóvenes y presentan salmueras subsaturadas en cloruro de sodio que contienen Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Li⁺ como principales cationes. Contienen importantes concentraciones de sales de boro en la costra salina, como Surire, Ascotán y Aguas Calientes.

1 ^{ra} Prioridad		2 ^{da} Prioridad		3 ^{ra} Prioridad	
Salar	Li; Área; Li/K	Salar	Li; Área; Li/K	Salar	Li; Área; Li/K
Salares Preandinos					
Maricunga	1.050; 145; 0,18	Punta Negra	380; 250; 0,04	-	-
Pedernales	423; 335; 0,08	-	-	-	-
Salares Andinos					
La Isla	1.080; 152; 0,10	Aguas C. Centro	220; 134; 0,06	Aguas C. Norte	290; 15; 0,24
Quisquiro	640; 80; 0,18	Pajonales	350; 104; 0,04	Talar	285; 27; 0,03
-	-	Aguilar	337; 71; 0,09	Aguas C. Sur Sur	205; 19; 0,04
-	-	Tara	600; 48; 0,14	-	-
-	-	Parinas	477; 40; 0,30	-	-
-	-	Pujsa	620; 18; 0,08	-	-

+Contenido de litio equivalente (mg/l)

+Extensión areal de la costra salina (km²)

+Razón litio/potasio (Li/K)

Tabla 3. Prioridad de salares Preandinos y Andinos potenciales fuentes de litio. Regiones de Antofagasta y Atacama

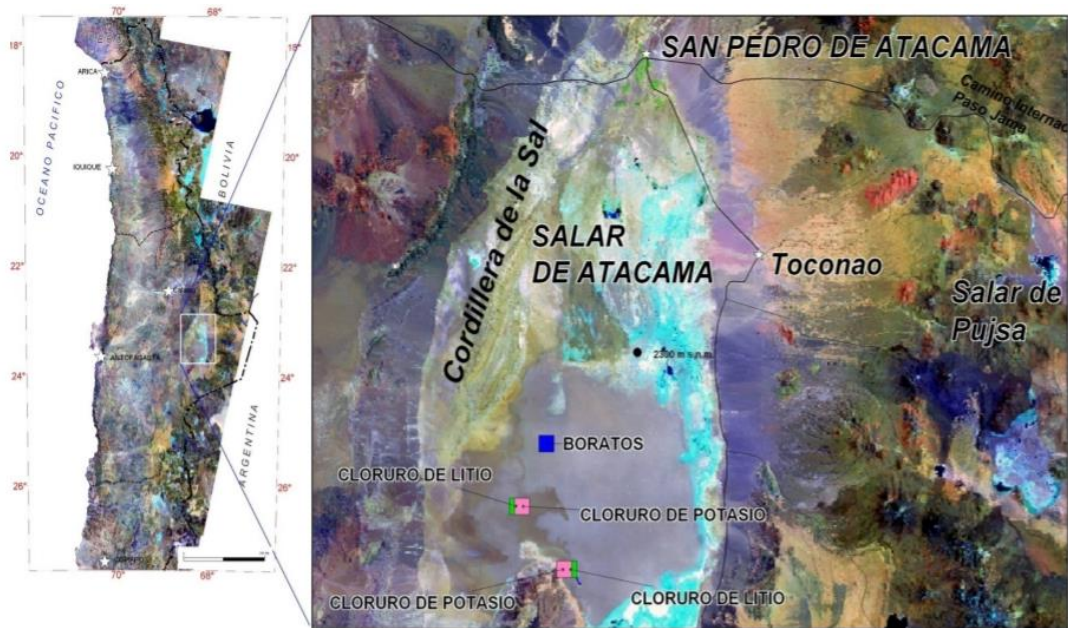


Ilustración 20. Salar de Atacama, Sernageomin Chile



Ilustración 21. Salar de Atacama, Sernageomin Chile

El Salar de Atacama ubicado en una fosa tectónica, entre la Precordillera y la Alta Cordillera, es conocido como el mayor depósito salino del país con una superficie aproximada de 3.000 km² de una cuenca de drenaje interno, cuya superficie total es de más de 13.300 km² y clasificado como un salar Pre Andino. Es la cuenca evaporítica de mayor importancia del país, tanto en tamaño, cantidad y variedad, drenado una hoya hidrográfica diez veces mayor, como potencia de depósitos salinos detríticos, que supera los 1.000 m.

En la cuenca del Salar de Atacama, se depositan salmueras que, en su formación original están favorecidas por el elevado gradiente geotérmico del lugar. Debido a la recarga de soluciones ricas en sales y a la continua evaporación por las condiciones climáticas de extrema aridez, se ha formado un núcleo de aproximadamente 1.400 km², compuesto casi exclusivamente de NaCl. Esta masa salina porosa, se encuentran ocluidas salmueras saturadas en NaCl que contienen altas concentraciones de otros elementos como el litio, potasio, boro, magnesio, sulfatos, etc., lo que ha dado lugar a la importancia económica del salar.

Los contenidos químicos de las salmueras de los Salares tiene una concentración de litio media de 1.7g/l, en relación porcentual a la tabla que se adjunta a continuación. (Universidad de Antofagasta).

COMPONENTES	g/l	%peso
Na	93.18	7.6
K	22.00	1.87
Mg	14.40	0.93
Ca	0.36	0.03
SO4	21.8	1.78
Cl	198	16.0
B	1.1	0.1
Li	4.1	0.33
Salinidad	250	25
Densidad	1.22	1.22

Tabla 4. Composición química de salmueras del Salar de Atacama

2.4.3 Salares mundiales

Vamos a comenzar nombrando los más significativos de Sudamérica. La existencia en salares de la región andina con altos contenidos en litio, se ubican en la parte occidental de Bolivia (Salares de Uyuni, Coipasa y Empexa) y de menor importancia en el norte de Argentina. (Universidad de Antofagasta).

Los tres países del "Triángulo del Litio" son Argentina, Bolivia y Chile que han llevado modelos adelante muy diferentes durante los años 2000.



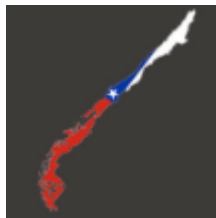
Argentina, por una parte, se ha caracterizado por la privatización y provincialización del capital extranjero en alianza a empresas estatales provinciales.

Ilustración 22. Argentina

La finalidad de Bolivia es un modelo con predominio del Estado Nacional y con la fabricación de baterías a nivel local. Impulsará la industrialización del mineral con un proceso que admitirá inversores nacionales o extranjeros, pero donde el Estado tenga la participación mayoritaria.



Ilustración 23. Bolivia



Y por último Chile está trabajando con la exportación del litio como “commodity” junto con empresas transnacionales.

Ilustración 24. Chile

2.4.3.1 En el **Salar de Uyuni**, ubicado en Potosí, Bolivia.

Es el mayor salar del mundo y a su vez el mayor yacimiento de litio. De los 10 millones de toneladas que contiene el salar, 5 millones son de materia prima de litio. (EAbolivia, 2017)

Por las condiciones climatológicas y geológicas de este salar, la extracción del litio no se puede realizar con la misma tecnología que se aplica en Chile. Por este motivo la Universidad Técnica de Minería de Freiberg, Sajonia, Alemania, lideran un proyecto piloto junto con la Universidad de Potosí en el salar de Uyuni. (EAbolivia, 2017)

“Buscamos desarrollar una nueva tecnología para extraer el litio en una primera fase, lo más eficiente posible y al mismo tiempo, incluir a las poblaciones residentes en el proceso” testimonio de Robert Sieland, estudiante de doctorado de esta universidad alemana y miembro del equipo científico de este proyecto. (EAbolivia, 2017)

“Nuestro objetivo es que los campesinos administren los conos independientes y vendan la solución salina a puntos de recolección o a plantas piloto y así aumentar sus ingresos” argumenta Sieland. (EAbolivia, 2017)

Según los cálculos de expertos, la extracción de litio puede generar a Bolivia ingresos anuales de alrededor de 120 millones de euros. Pero para lograr una extracción a nivel industrial son necesarios varios procesos. El primero es la concentración de la solución salina, como el

proyecto de los “conos”. De los cinco “conos de evaporización intensiva de Freiberg” ya se extrae solución salina de forma concentrada. (EAbolivia, 2017)



Ilustración 25. Conos extractivos, Bolivia

Los conos de evaporización intensiva de Freiberg en el Salar de Uyuni están instalados como cono de 3 metros de altura de tela metálica y folios plásticos de color naranja en cuya cima se encuentran unas ruedas metálicas que giran a favor del viento. La salmuera es bombeada desde el interior del cono hacia la superficie a través de delgados tubos que se distribuyen por ruedas sobre el cono y se evapora en el camino, siendo este sistema una plataforma experimental para producción de litio. La idea surgió del ingeniero de minas boliviano Jaime Claros, y a su vez, docente en la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF) de Potosí y se doctoró en Freiberg. Junto con su compañero de Freiberg, químico especialista en sales, son los principales científicos del proyecto de investigación boliviano-alemán sobre la explotación de litio en el salar. (Fernando de Cos Blanco, 2011)

Por medio de un proceso químico se podrá obtener el carbonato de litio, pero para eso todavía Bolivia no está preparado. (EAbolivia, 2017)

Por el momento, según Sieland “no existe interés por parte del Gobierno o del sector económico alemán en el litio de Bolivia”, pudiendo deberse a la mala infraestructura y las condiciones básicas de la región, afirma Sieland. (EAbolivia, 2017)

“Todavía estamos construyendo la técnica y realizando experimentos. Para la transformación industrial habrá que esperar algunos años”, admite Sieland. (EAbolivia, 2017)

2.4.3.2 Cuenca Qaidam: está en la provincia de Changai.

Es donde se encuentran los mayores recursos de litio en China. La cuenca contiene aproximadamente 33 lagos salinos ricos en minerales como litio, magnesio, potasio, boro, etc. El principal problema de estos lagos está asociado a los altos contenidos de magnesio de las salmueras y oscila entre 40 y 60 veces las del litio.

Sin embargo, CITIC (Agencia Gubernamental China) está poniendo en funcionamiento el lago Taijanaier, en el que se han declarado reservas por 940.000 toneladas de litio. Sus concentraciones de litio no son demasiado altas, promedio 360 ppm, pero si su alta tasa de evaporación llega a 3.560 mm/año.

En 2004 se inició un plan piloto de producción de carbonato e hidróxido de litio de unas 500 toneladas anuales de litio equivalente. En 2007, se inauguró oficialmente la planta de producción de carbonato de litio, con una capacidad de producción de 35.000 toneladas anuales. La producción actual se estima del orden de las 6.000 toneladas anuales. (Yaksic, 2008).

En el Tibet también existen un largo número de lagos salinos, de los cuales dos se han identificado como fuentes importantes de litio: Zhabuye y Dangxiangscuo (DXC).

2.4.3.3 **Lake Zabuye**, este lago está ubicado en China.

A una altura de 4.400 m s.n.m en Shigatse Prefecture, región Autónoma de Tibet. El lago está rodeado de montañas con unas alturas entre 4.600 y 5.200 metros. Y es alimentado por agua de lluvia, aguas subterráneas y hielo derretido. El lago tiene este nombre por el mineral zabuyelite (carbonato de litio, Li_2CO_3). Fue descubierto en 1987 y había sido minado desde 2004 - 2005. En 2008 fue considerada como la mayor fuente de lito de China. Actualmente, Zhabuye Lithium posee 20 años de derechos de explotación exclusiva para el lago de sal Zhabuye. La producción de litio comenzó entre 2004 y 2005. En 1984 el litio fue encontrado en finos sedimentos en el lago. La empresa involucrada en la explotación tenía una planta en el lago con una capacidad de 5.000 toneladas y tuvo una producción de 1.556,5 toneladas de carbonato de litio en 2008. Se proyecta un incremento de 20.000 toneladas más en un futuro cercano.

La noticia vino con que China lanzará un automóvil eléctrico altamente competente y se estima que la demanda de litio se duplique. La mayor parte del litio para satisfacer su producción vendría de Sudamérica, centrada en el triángulo del litio, ya que entre las tres se concentran la mayor cantidad de recursos del mundo.

La pequeña ciudad de China, Yichun en Jiangxi tiene recursos de litio, pero en forma de lepidolita y pueden ser muy difíciles de extraer y esta mina no se considera de las mejores de China.



Ilustración 26. Ubicación y Lago Zabuye

2. 4.3.4 **Lago Dangxiongscuo**, se puede encontrar en China.

Este lago muestra concentraciones promedio entre los 400 y 500 ppm y una tasa de magnesio sobre litio solo del 0,22. Se ubica sobre los 4.440 m s.n.m y presenta una tasa de evaporación de 2.300mm/año. Solo se estiman reservas por 170.000 ton. de litio, lo que significa unas 900.000 ton. de carbonato de litio. (Yasik, 2008)

2.4.3.5 **Greenbushes** lugar que podemos encontrar en Australia.

Se sitúa entre las principales productoras del mundo según el Instituto Geológico de Estados Unidos. Lleva en producción más de 25 años. La mina está ubicada en el sur de la ciudad de Greenbushes y sus reservas ascienden a 70.4 millones de toneladas de mineral espodumeno con 1.2% de litio, lo que implica que es 0.85 millones de toneladas de litio.

Talison Lithium Inc. es el principal productor de litio primario más grande del mundo, la producción de su operación australiana es 1/3 de la demanda mundial de litio, suministrando un 75% a China.

Las dos principales industrias de esta mina son la minería, que produce concentrados de tantalita, minerales de litio, estaño y caolín, y por otro lado molienda de madera.

Greenbushes tiene un cuerpo de pegmatita altamente mineralizado con una longitud de más de 3 km. Su reserva natural contiene 50% de espodumeno y hace que esta mina contenga la más alta ley en el mundo con 3.9%.

Talison es el único proveedor de litio puro que no produce a partir de las operaciones de salmuera, sino que de las operaciones de extracción de rocas. Sus operaciones producen dos tipos de concentrados de litio: uno con bajo contenido en hierro para su uso en la fabricación de vidrio, cerámica y utensilios de cocina a prueba de calor y el otro con un alto grado químico de alto rendimiento para producir productos químicos para la base de baterías de litio.



Ilustración 27. Explotación a rajo Greenbushes

2.4.3.6 **Kolmozerskoe, Polmostundrovskoe Ulug-Tanzek, Goltsovoe y Urikskoe** en Rusia.

Es otro país que contiene litio en diferentes formas. La mayoría de las pegmatitas en Rusia contienen tantalita. **Kolmozerskoe** tiene aproximadamente 600,000 toneladas, **Polmostundrovskoe Ulug-Tanzek, Goltsovoe y Urikskoe** contienen entre 300,00 a 600,000 toneladas de carbonato de litio. Sin embargo, ninguno de ellos está siendo minado.

La extracción tradicional de rocas duras de pegmatitas que contienen litio con silicato de espudomeno es un trabajo costoso, lento y requiere mucha energía. El litio es el trigésimo tercer mineral con mayor frecuencia, no es escaso pero las concentraciones suelen ser demasiado bajas. La tendencia en la industria ha sido una transición de las fuentes de litio a salmueras basadas en la minería de roca dura.

La rentabilidad de las operaciones de salmuera obligó a grandes productores de Rusia a comprar materias primas a los productores de salmueras.

2.4.3.7 **Val d'Or, Quebec** en Canadá.

Se sitúa al noreste aproximadamente a 60 km del norte de esta ciudad. Está operada por Quebec Lithium Inc. y dueña 100% por Canadá Lithium Corporation Quebec es una de las zonas mineras mejor calificadas en el mundo y los costos de electricidad es uno de los más bajo de Norte América y eso es muy beneficioso para las operaciones mineras.

Entre los años 1955 y 1965 funcionó como una mina subterránea, produciendo carbonato de litio para la venta en el mercado norte americano. La mina de 150 m de profundidad e incluía una planta de concentración de superficie y una refinería. Con la puesta en marcha de nuevo de la planta, a finales de 2012 utilizando camiones de 150 toneladas y excavadoras hidráulicas.



Ilustración 28. Ubicación y explotación Val D'Or

2.4.3.8 **Mina Silver Peak**, ubicada en Clayton Valley, Carolina del Norte, Estados Unidos. Tiene 80 empleados y es propiedad de la compañía minera Albemarle, recientemente adquirida y anteriormente ha estado procesando el litio de las salmueras desde mediados de los años sesenta para su uso en vidrio, cerámica, grasas, aplicaciones médicas y electrónica. (Bloomberg, 2017)

Es la única mina de litio comercial activa en América del Norte, siendo sus productos unos de los más puros del mundo. Tanto en Clayton Valley como en el triángulo del litio se extrae de los acuíferos salobres. (U.S.News, 2017)



Ilustración 29. Mina Silver Peak

Se obtienen de ellas carbonato de litio y como subproducto sales de potasio. Las dimensiones de este depósito son 12.8 km de largo por 6.5 km. de ancho y a una profundidad media de 450 metros, posee salmueras con contenido medio de 0.02 % en cloruro de litio. (Fundación Terram, 2016)

Los pozos se perforan para obtener la salmuera, luego se evapora naturalmente en estanques grandes. A veces se añade cal viva para eliminar los minerales indeseables, como el magnesio, del líquido. El magnesio deja una película sobre la superficie del estanque, inhibiendo la función del sol y decelera la evaporación, lo que aumentan los costos de operación. (Bloomberg, 2017)

La salmuera de Clayton Valley tiene baja concentración de litio, pero también baja relación de magnesio. Por este motivo, el litio se podría concentrar barato, porque el agua que la sostiene se evaporaría relativamente rápido con el clima seco del oeste de Nevada. (Bloomberg, 2017)

En pocos años, Nevada puede estar suministrando el doble de lo que hoy genera. (Bloomberg, 2017)

El precio de una tonelada de carbonato de litio se ha triplicado desde 2015. Según Deutsche Bank, la demanda mundial del carbonato de litio en la próxima década podría duplicarse a 534.000 toneladas al año. Los analistas predicen que el carbonato de litio podría convertirse en un mercado de 1.700 millones de dólares para el 2019. (Bloomberg, 2017)

De 2010 a 2015, las ventas de baterías de iones de litio casi se duplicaron debido a la demanda automotriz. Predicen que representarán el 35% de todas las ventas de los

automóviles en 2040. Si las estimaciones son correctas, los coches eléctricos en todo el mundo superarán los 1.900 terawatt/horas año, suficiente energía para alimentar a todo el mundo de Estados Unidos durante 160 días. (Bloomberg, 2017)

Este Estado tiene una gran abundancia de energía durante el día, cuando sus granjas solares masivas están generando energía junto con las tradicionales plantas de gas natural del estado, pero a medida que llegan las horas punta y se comienza a demandar más electricidad. (Bloomberg, 2017)

Elon Musk: ingeniero, inversor y empresario sudamericano. Cofundador de Paypal, Tesla Motors y Solar City entre otras. Actualmente director general de Space X y Tesla Motors y presidente de Solar City. Desveló el Tesla Powerwall, un paquete de baterías de iones de litio que se conectan a la red eléctrica de cada hogar y regulan el uso de energía para compensar la demanda durante las horas pico. (Bloomberg, 2017)

Este año, en el sur de California, se instalaron 396 baterías Tesla de iones de litio de tamaño industrial. Puede alimentar 15.000 hogares casi 4 horas durante la demanda máxima. (Bloomberg, 2017)

El impacto de la fiebre por el litio es menos claro cuando se trata de Nevada, aunque las empresas están inundando el Estado atraídos por la promesa del mineral y gran parte de la actividad en este momento es solo exploratoria. Las reservas de litio en Nevada tendrían que ser significativas para hacer mella en un mercado dominado por Sudamérica y Australia. (Bloomberg, 2017)

Danna Bennett, directora de la Asociación de Minería de Nevada, dijo: “El litio es realmente sexy en este momento, pero no es el único en la playa”, ya que Nevada no tiene escasez de riqueza de mineral. (Bloomberg, 2017)

2.4.3.9 **Salar del Hombre Muerto**, en Argentina.

Ubicado en la provincia de Catamarca, límite con la provincia de Salta, a unos 4.000 m s.n.m. Se comenzó a explotar en 1997, explotando salmueras ricas en litio. Se realiza por bombeo y no requiere minado, después es tratada en una planta de absorción selectiva donde se extrae el litio, devolviendo el resto al salar de nuevo. Figura

29: Salar de Hombre Muerto Éste se coloca en zonas de evaporación para luego ser tratado en dos plantas, una ubicada en el propio salar y la otra en Güemes (cerca de la ciudad de Salta).



Ilustración 30. Salar del Hombre Muerto

Las reservas medidas son entre 360.000 y 400.000 toneladas de litio en los 0 y 30 metros de profundidad y 850.000 toneladas entre los 0 y 70 metros de profundidad con 600 ppm de litio de ley media. Se comercializa cloruro de litio y carbonato de litio. (Asociación Argentina para el progreso de las ciencias, 2017)

2.4.3.10 **Salar del Rincón**, Argentina.

Concretamente en la provincia de Salta. Actualmente es explotado por Recursos de Almirantazgo NL de Australia. Se encuentra a 3.700 m de altitud. Es una cuenca cerrada de 250 km². La profundidad de la reserva de salmuera es 60 m. y tiene condiciones favorables de alta evaporación solar y eólica, baja precipitación y baja humedad para concentración de la salmuera. Se ha estado estudiando el depósito por un número de años y se cree que está listo para producción de carbonato de litio, hidróxido de litio y cloruro de litio o potasio.

La investigación ha llegado a la conclusión que el litio de la salmuera se está reponiendo por un río subterráneo que pasan por dos volcanes y otros sistemas intrusivos que rodean el salar.

El cuerpo de halita promedia 40 m. de profundidad con una porosidad del 23%. Está limitado a profundidad por una capa de no consolidado de arenas piroclásticas.

La concentración in situ del salar oscila entre 200 - 2.400 ppm. Las concentraciones más importantes están ubicadas donde están localizadas las siete bombas de producción. El inicio de la producción comenzaría a finales de 2007. A fecha de 2007, había 14,6 km de caminos mineros en el salar y 14,2 km que se construirían después para dar servicio a las tuberías. (Im exposure, 2007)



Ilustración 31. Salar del Rincón

2.4.3.11 **Searles Lake**, California.

El lago Searles Lake se encuentra ubicado en Searles Valley, California. Actualmente está seco y contiene el mayor contenido de sales conocida en ese estado. La parte central es una superficie útil de 31 km² formado en su mayor parte por halita pura, con un espesor medio de 21m, constituido por mantos salinos casi horizontales, Se estima que su cuerpo cristalino contiene alrededor de 25% de huecos, los que están rellenos con salmuera saturada principalmente de sulfatos, cloruros, carbonatos y boratos de sodio y potasio. Su contenido en litio oscila entre 0.006 y 0.011%. Las reservas de litio contenidos en estas salmueras alcanzan a 42.000 ton de litio. Desde 1880, Searles Lake ha sido una importante fuente de abastecimiento de materias primas para la elaboración de productos químicos, operando en forma continua desde 1926. En la actualidad, la empresa American Potash and Chemical Corporation, recupera 16 productos químicos de estas salmueras, en las que se incluyen sales de litio. (Fundación Terram, 2016)

2.4.3.12 **Lusa de Montalegre**, Portugal.

La mayor mina europea de litio estará a 12 km de Oimbra (Ourense). Se encontrará en la frontera de Portugal y Galicia, en la cual se invertirán alrededor de 500 millones en una explotación que se podría ponerse en marcha en 2020, creando unos 500 empleos. Explotando 300 millones de toneladas.

Todo comenzó por una serie de prospecciones en una pequeña aldea de Cepeda, donde se descubrió una veta de litio.



Ilustración 32. Prospecciones mineras

Actualmente, Portugal ha firmado con la empresa de Braga, Lusorecursos, la explotación de los depósitos de litio, redactando un prolijo EIA con la finalidad de minimizar los efectos sobre el paraje de la minería a cielo abierto.

El presidente de la Cámara Municipal de Montalegre, Orlando Alves, no baraja la opción de realizar el proceso de extracción del material y que el proceso de transformación se vaya fuera. La actividad industrial se basará en dos fases: la separación de minerales tras su extracción y refinarlo para obtener hidróxido de litio, utilizando el resto de materiales de la actividad minera para otros fines.

Paralelamente, la empresa pretende construir una serie de túneles y pasadizos a lo largo de 10 km para que los visitantes puedan comprobar *in situ* el proceso de extracción minera, incentivando el desarrollo turístico de una región económicamente agroganadera. (La Voz de Galicia, 2019)

La población Morgade se encuentra en oposición a los trabajos mineros y a la falta de información hacia la población por parte del Gobierno, por lo que a modo de protesta decidieron no votar en las elecciones europeas. (La Voz de Galicia, 2019)

2.4.3.13 **Retortillo**, España.

Esta mina de uranio está ubicada en Salamanca. La compañía Berkeley Energía la explota y las últimas investigaciones indican que se han encontrado oro, litio, cobalto estaño y otras tierras raras en la zona. Han solicitado 12 nuevos permisos para seguir explorando la zona que cubre 350 km² y han recibido evaluaciones favorables de organismos reguladores al proyecto, incluyendo dos del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) referentes al plan de vigilancia preoperacional para el control de las aguas subterráneas y de las afecciones radiológicas. No obstante, se espera el informe de recomendación del CSN. (El Economista, 2019)

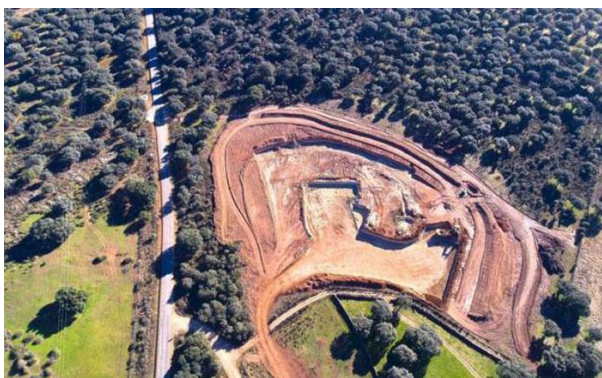


Ilustración 33. Mina de Uranio, Salamanca

2.4.3.14 Cañamero, España.

Está ubicada en Extremadura, más concretamente en Cáceres. El proyecto de esta zona está generando polémicas. La Plataforma Salvemos la Montaña, lucha para impedir que se abra una mina de litio a cielo abierto en este pueblo a tan solo 2 km del centro de Cáceres, ciudad Patrimonio de la Humanidad. La explotación socavaría el pulmón verde en la sierra de la Mosca.



Ilustración 34. Plataforma Salvemos la Montaña bajo el lema: "Cañamero no es minero, es aceitunero"

Son proyectos que se buscan minerales metálicos como cobre, wolframio, níquel, litio, vanadio, cobalto, antimonio... Algunos catalogados como estratégicos por la UE por ser vitales para el desarrollo tecnológico actual y por su escasez dentro de España.

La Junta de Extremadura actualmente gestiona 230 solicitudes para explotar sus recursos mineros: 85 con permisos de investigación, 62 en trámite de recibirlos (36 corresponden a minerales metálicos), 49 están en trámite de explotación y 34 pertenecen a áridos. Son procesos que pueden durar varios años y van ligados a gran cantidad de documentación. Según datos se la Dirección General de Industria, Energía y Minas.

Existen 6 yacimientos activos de minerales estratégicos en España, 2 de los cuales los encontramos en Extremadura, según IGME. En Badajoz, La Parrilla, se considera uno de los mayores yacimientos de wolframio del mundo occidental, ubicándose en la misma provincia el segundo yacimiento más importante en Aguablanca de níquel, cobre y minerales de platino.

La Junta de Extremadura tiene la obligación de tramitar todos los expedientes que son presentados. Si las resoluciones, finalmente fuesen positivas afectarían a los municipios de Cañamero, Logrosán y Berzocana.



Ilustración 35. Mina Constanza Logrosán. Geoparque Villuercas Ibores Jara

En contraparte, se teme que las labores mineras puedan afectar a la fauna y flora la zona, por una parte, en el municipio de Berzocana que se vea afectada la calidad de la miel incluida dentro de la D.O. Villuercas-Ibores y el turismo atraído en la zona por un geoparque Villuercas-Ibore-Jara, territorio que acoge lugares y paisajes geológicos de importancia internacional otorgado por la UNESCO y no solo eso, si no en el caso de que el geoparque se viese afectado a la hora de comenzar con los trabajos mineros.

La Junta de Extremadura apoya las declaraciones de las empresas de que por ahora solamente serían trabajos de zanjas y sondeos. Una vez que se complete el expediente, pasará a exposición pública y cualquier persona u organización podrá exponer sus alegaciones. (El País, 2018)

2.5 Fuentes de extracción del litio

2.5.1 Mineral

Se explotan los minerales de litio mediante minería a rajo abierto. Proceso usado en EEUU, Australia y Canadá. El contenido promedio de Li_2O es de 1,5%. Los minerales son sometidos a un proceso de concentración: chancado, molienda y flotación. (Ministerio de Minería Chile)

Se obtiene un concentrado de litio con una ley de 6,0 a 6,5% de Li_2O . El concentrado de espodumeno natural o forma alfa es transformado por calcinación a la forma beta que es más reactiva. (Ministerio de Minería Chile)



Ilustración 36. A la izquierda, con microscopio electrónico del mineral espodumeno, se observa cristal de Brasil de 12.5 cm. A la derecha, muestra de mineral extraído de Carolina del Norte, EEUU. The Georgia Mineral Society

El espodumeno (*spodumene* es originalmente de Grecia), también es conocido en América como Kunzita, un cristal de dureza de 6,5 a 7 y presenta una densidad de 3,1 g/cc y además posee la característica de diversos colores que van desde gris claro, amarillo, verde hasta púrpura. (Universidad de Antofagasta)

Se realiza un tratamiento en caliente con ácido sulfúrico (tostación ácida) y posteriormente, la mezcla de sulfato de litio formada, mineral residual y exceso de ácido se envía a un estanque de lixiviación para la obtención de soluciones de sulfato de litio. (Ministerio de Minería Chile)

Las soluciones de sulfato de litio son consecutivamente neutralizadas, purificadas y concentradas en evaporadores en triple efecto. (Ministerio de Minería Chile)

Se tratan con carbonato de sodio Na_2CO_3 para la obtención final de carbonato de litio. (Ministerio de Minería Chile)

2.5.2 Salmueras naturales

Las salmueras son bombeadas desde debajo de la corteza salina. Después, las salmueras son ubicadas en lagunas de evaporación solares, el desierto evapora el agua y deja un barro de salmuera con altas concentraciones de litio. Finalmente es cargado en camiones, deshidratado por completo y exportado. Es tan sencillo, que de aquí extraemos cloruro de potasio, carbonato de litio, sulfato potásico, ácido bórico y cloruro magnésico. (SQM Chile)

Las salmueras representan el 66% de los recursos de litio a nivel mundial y se encuentran principalmente en Chile, Argentina, China y Tíbet. Se ha demostrado que es la más rentable que la producción a partir de roca dura (pegmatitas). Una vez la producción de roca dura fue la que dominó el mercado, ahora la mayoría de carbonato de litio se produce a partir de salmueras continentales, sobre todo por costo menor de producción. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

Hay tres tipos de salmueras: continentales, geotérmicas y campos petrolíferos. El más común es en cuencas continentales del desierto salino (lagos de sal, salinas o salares). (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

2.5.2.1 Salmueras continentales:

Son la forma más común de salmuera que contiene litio. La mayoría de la producción provienen de este tipo. El Salar de Atacama son 3.000km² y contiene una concentración de litio promedio de 0.14%. Los dos productores de litio más importantes son: SQM y ROC.

2.5.2.2 Salmueras geotérmicas:

Representan el 3% de los recursos mundiales y se compone de una solución salina caliente, concentrada que ha circulado a través de rocas de la corteza terrestre en áreas de flujo de calor extremadamente alto y se enriquecen de litio, boro y potasio. Pequeñas cantidades de litio se encuentran en las salmueras en Wairakei, Nueva Zelanda, Reykanes (Islandia) y los Geisers del Tatio (Chile). (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

El Mar de Saltón (Sur de California) es el ejemplo más conocida de salmuera geotérmica que contiene litio. De aquí obtenemos carbonato de litio de alta pureza, la empresa que lo explota, Simbol Materials, utiliza el proceso del ósmosis inversa que elimina la necesidad de evaporación solar y las operaciones son más rentables. La empresa espera aumentar la

producción de 8.000 toneladas al año a 64.000 toneladas en 2020. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

2.5.2.3 Salmueras de campos petrolíferos:

Son yacimientos profundos de petróleo que representan el 3% de los recursos mundiales conocidos. Dakota del Norte, Wyoming, Oklahoma, Arkansas y este de Texas es donde se ubican estas salmueras con concentraciones de hasta 700mg/l. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

2.5.3 Depósitos pegmatita o roca dura

Pegmatita es roca intrusiva de grano grueso formado a partir de magma cristalizado en el interior de la corteza terrestre, contienen minerales como litio, estaño, tántalo y niobio. Estos depósitos representan el 26% de los recursos mundiales de litio. Mineral de roca dura que contiene litio se extrae a través de la explotación de minas a cielo abierto o subterráneas usando técnicas tradicionales y el procedimiento de extracción es caro, sin embargo, la concentración de litio en pegmatitas es más alto que en salmueras. La producción de estaño y tantalio puede ayudar a compensar los costos de procesamiento. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

El litio se encuentra en el mineral espodumeno en mayor cantidad, pero también en petalita, lepidolita, ambligonita y eucrypta. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

Alaska, norte de Ontario, Quebec, Irlanda y Finlandia son conocidas por estos yacimientos. Uno de los principales yacimientos se ubica en Greenbushes (Australia), el cual tiene un recurso estimado de 560.000 toneladas de mineral de litio con una concentración media de 1,6%. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

2.5.4 Rocas sedimentarias que contienen litio

Estos depósitos representan el 8% de los recursos mundiales de litio conocidas y se encuentran en depósitos de arcilla y en rocas evaporitas lacustres. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

2.5.4.1 Depósitos de arcilla:

En este caso el litio se encuentra en la estructura cristalina, en el mineral esmectita. El tipo más común de esmectita es hectorita ($\text{NaO}_3(\text{Mg},\text{Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$), que es rico en magnesio y litio. Recibe su nombre de un depósito que contiene 0,7% de litio que se encuentra en Héctor (California). (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

Kings Valley (Nevada) tiene otro depósito de hectorita con un estimado de 48,1 millones de toneladas como recursos indicados y 42,3 millones de toneladas de recursos inferidos con una ley de 0,27% litio. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

El litio en las arcillas proviene por el enriquecimiento secundario, por el efecto del movimiento de aguas termales subterráneas. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

2.5.4.2 Evaporitas lacustres:

El Valle de Jadar (Serbia), donde se encuentra el mineral jadarita (compuesto por sodio, litio, boro, sicilio, hidrógeno y oxígeno). Este depósito es propiedad de la empresa río Tinto. Contiene un recurso inferido de 125,3 millones de toneladas de jadarita que contiene óxido de 1,8 %. El proyecto está en la fase de exploración, pero se cree que es una de las fuentes más grandes de litio con potencial de suministrar más del 20% de la demanda del litio. (Dirección General de Desarrollo Minero México, 2014)

En el salar de Atacama se extraen minerales de dos áreas diferentes, en una de ellas se extraen potasio y litio y de la otra obtienen altas concentraciones de sulfato y boro. En el salar, las lagunas de evaporación cubren 1.700 hectáreas aproximadamente. Y Atacama es el lugar más seco de la tierra con un índice de evaporación solar de 3.200 mm y precipitaciones promedio de sólo 15 mm al año. (SQM Chile)



Ilustración 37. Proceso de transformación del litio, SQM

2.6 Procesos productivos

¿Cómo llegamos a obtener las sales del litio (carbonato de litio, hidróxido de litio y cloruro de litio)? Chile puede estudiar algunas alternativas que le permitan aumentar el valor agregado de su producción de litio. La primera opción es aumentar la producción del hidróxido de litio monohidratado grado batería, cuya demanda está creciendo de manera significativa en la fabricación de cátodos para baterías secundarias que se obtienen por vía húmeda, como el fosfato de hierro y litio y los basados en Li-Ni, donde se necesita un compuesto de litio soluble como lo es el hidróxido.

El hidróxido de litio se comercializa a un mayor valor que el carbonato de litio y se estima que su crecimiento superaría al del carbonato de litio debido a condiciones de mercado más apretadas.

Hoy en día SQM es la única compañía que produce hidróxido de litio en Chile, obtenido a partir de carbonato de litio. Chile ha perdido terreno en esta industria debido al crecimiento en la producción de hidróxido de litio en China. (CNL)

Con el objetivo que la oferta del hidróxido de litio chileno sea más competitiva, debe estudiarse también a partir de sulfato de litio en lugar del carbonato de litio, que utiliza una materia prima importada en su fabricación (ceniza de soda, Na_2CO_3). (CNL)

Un producto del litio que podría tener una demanda interesante es el nitrato de litio, como componente de sales fundidas para el almacenamiento térmico (TES) en plantas de concentración solar potencia (CSP). (CNL)

La producción de carbonato de litio se origina a partir de soluciones de cloruro de litio obtenidas en el Salar de Atacama como subproducto de la producción de cloruro de potasio. Las soluciones son posteriormente procesadas para producir carbonato de litio en una planta ubicada en el Salar del Carmen, cerca de Antofagasta. Las salmueras no son inyectadas al salar.

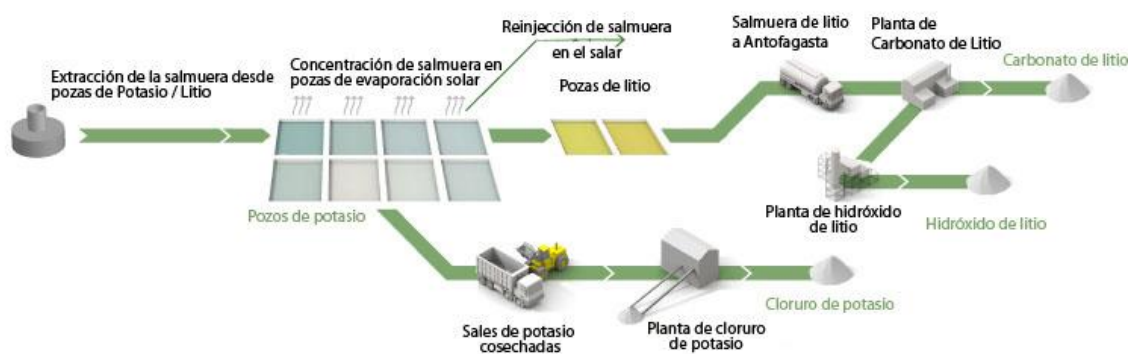


Ilustración 38. Obtención de sales de litio, SQM

En el salar de Atacama se encuentran las mayores y mejores reservas mundiales de litio a partir de salmueras. Son un cuerpo salino en el cual existen depósitos de salmueras generados por filtraciones de agua que provienen del subsuelo de la Cordillera de los Andes, poseen varias ventajas como las altas concentraciones de potasio, litio y boro.

El espodúmeno se encuentra asociado a las pegmatitas (resultado de la cristalización final de magmas en ambiente volátil y están compuestas por granitos y granitos alcalinos), se concentra por flotación diferencial, para obtener un concentrado entre 2.5 y 3.2% de litio, lo que equivale a un valor entre 85% y 95% del mineral espodúmeno respectivamente (Garcés, 2011)

2.6.1 Producción de hidróxido de litio a partir del mineral espodúmeno

Para producir hidróxido de litio, LiOH , la calcina se muele y luego se lixivia con agua de manera de recuperar el litio en solución acuosa como hidróxido de litio.

La pulpa lixiviada se sedimenta y se filtra, este filtrado contiene cerca de 10% de hidróxido de litio monohidratado $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$, se retira del cristalizador, se centrifuga y seca a una temperatura entre 80° y 120°C con vapor indirecto para obtener así los cristales secos del monohidratado. La solución se retorna al cristalizador y una pequeña fracción se descarta para evita la acumulación de impurezas como Al , Mg , Ca , K y Cl . Los cristales se incrustan en el hidróxido de litio lo que requiere de un lavado semanas con HCl para sacar los cristales mediante la formación de cloruro de litio. Este cloruro de litio producido con el HCl debe ser tratado separadamente (Wilkormirsky, 2009)

Si se requiere obtener hidróxido de litio anhidro, el monohidratado se calcina a baja temperatura en vacío de 100° a 120°C , es envasado, es higroscópico (capacidad que poseen algunas sustancias de absorber y exhalar la humedad según el medio en el que se encuentran). Para la obtención de hidróxido de litio monohidratado, se debe secar a vapor entre 80° y 120°C . (Wilkormirsky, 2009)

La siguiente figura describe el proceso que debe recorrer el mineral espodúmeno para lograr que el producto final sea hidróxido de litio anhidro o monohidratado. El mineral sufre varias transformaciones como calcinación, molienda, lixiviación, sedimentación y cristalización.

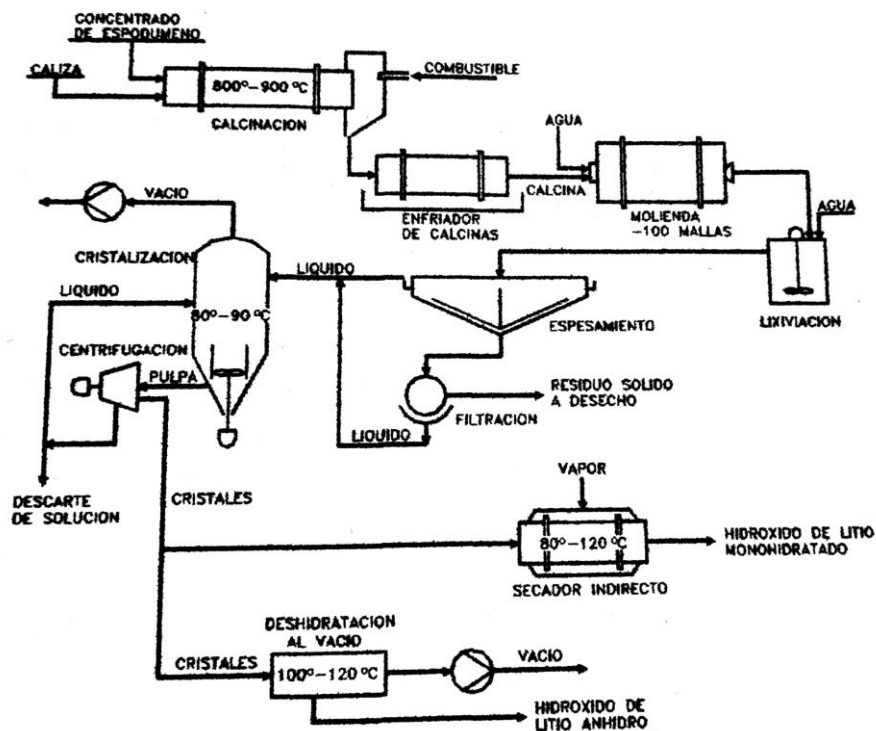


Ilustración 39. Diagrama del proceso de obtención de hidróxido de litio anhidro y monohidratado a partir de concentrados de espodúmenos. Wilkormirsky

2.6.2 Producción de carbonato de litio a partir de mineral espodúmeno

El mineral espodúmeno calcinado también se emplea para producir carbonato de litio y antes de la explotación de los salares, era la principal fuente de obtención de carbonato de litio.

La calcina de espodumeno, previamente calcinada entre 800° y 900°C, se muele y luego se trata con ácido sulfúrico concentrado entre 96% y 98% de pureza a una temperatura de 250°C en un reactor agitado, formando sulfato de litio, el cual, se extrae mediante lixiviación de la calcina con agua a temperatura entre 50° y 60°C. La pulpa se decanta y filtra. La solución obtenida se trata con hidróxido de calcio para precipitar los sulfatos presentes como sulfato de calcio y alúmina, y dejar el litio en forma de hidróxido. La reacción del espodúmeno con ácido sulfúrico concentrado a 250°C ocurre en forma de una pasta semiplástica con apariencia de cemento pastoso y con generación de gases con SO₂, SO₃ y ácido sulfúrico gaseoso, lo cual requiere de reactores agitados (mezcladores u hornos de piso) con control y neutralización de los gases de salida.

La pulpa se espesa y filtra para dejar en solución solo el sulfato de litio.

El litio en solución como hidróxido de litio se precipita finalmente desde el filtrado a la forma de carbonato de litio empleando ceniza de soda (carbonato de sodio) entre un 20 y 24% de pureza.

La precipitación del carbonato de litio se efectúa a una temperatura entre los 90 y 95 °C. El lavado de carbonato se hace con agua caliente a la misma temperatura y las soluciones e lavado se recirculan al proceso para no perder litio disuelto.

En la siguiente imagen se observa el proceso para obtener carbonato de litio de calcinas de espodúmeno por sulfatación con ácido sulfúrico, lixiviación con agua y precipitación con ceniza de soda. El producto obtenido es carbonato de litio que presenta entre un 98,5 y 99% de Li₂CO₃.

Este proceso ha encontrado problemas económicos debida a que la producción de carbonato de litio desde salmueras, particularmente en el Salar de Atacama, es más rentable y menos demandante energéticamente y no genera desechos ya que las salmueras tratadas son devueltas al salar. Además, en la etapa de sulfatación de espodúmeno con ácido sulfúrico concentrado es altamente corrosiva.

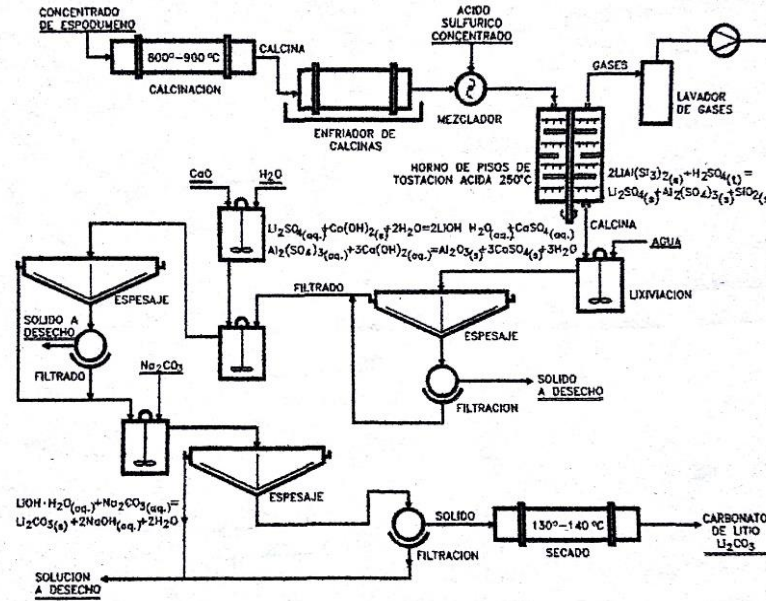


Ilustración 40. Obtención de carbonato de litio desde concentrado de espodumeno mediante tostación, lixiviación y precipitaciones sucesivas. Wilkormirsky

2.6.3 Producción de hidróxido de litio desde carbonato de litio

El hidróxido también puede ser producido a partir de carbonato de litio de 99% de Li_2CO_3 , y se trata el carbonato de litio con hidróxido de calcio (lechada de cal) para producir el hidróxido de litio.

La pulpa, conteniendo el hidróxido de litio en solución y carbonato de calcio precipitado se lava en un sistema de 4 ó 5 decantadores en serie y a contracorriente, para obtener una pulpa con un 10% aproximado de hidróxido de litio en solución, después de ser filtrada, se lleva a evaporadores de triple efecto para concentrar la solución y permitir la cristalización de hidróxido monohidratado de litio. Los cristales de hidróxido de litio monohidratado se separan en una centrifuga y luego se secan a 80-100 °C con vapor indirecto. La solución se retorna al cristalizador, descartando una parte para evitar la acumulación de impurezas como K, Ca, Na y Mg. Si se desea hidróxido de litio anhidro, este se seca indirectamente y en un vacío a una temperatura entre 100 y 120 °C.

El carbonato de litio puede ser la materia prima para producir cloruro de litio de alta pureza, con una calidad electroquímica de 99,9%, para la producción de litio metálico. Para ello, se trata el carbonato de litio con ácido clorhídrico.

La producción de litio metálico requiere de un cloruro de una pureza sobre el 99,9% y se concentra por evaporación hasta tener sobre el 99,9% de LiCl , el cual se seca, siendo aditivo de las celdas de electrolisis para obtener litio metálico. (Garcés, 2011)

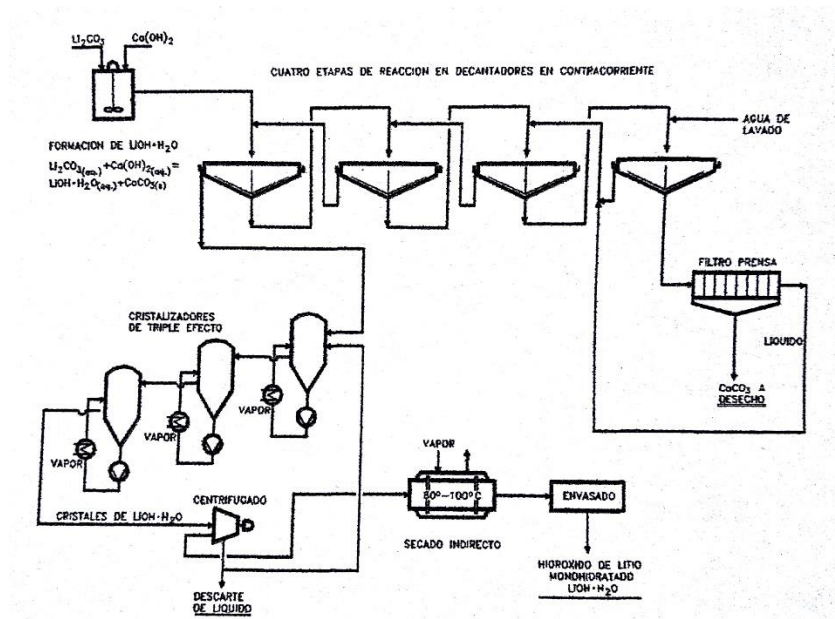


Ilustración 41. Producción de hidróxido de litio monohidratado a partir de carbonato de litio técnico. Wilkormirsky

3 NORMATIVALES LEGALES

Marco legal del litio -mineral de interés nacional no concesible que sólo puede ser explotado por el Estado a través de sus empresas, y su comercialización y acopio debe ser autorizado por la CChEN-, permite ser explotado hoy sin necesidad de una legislación especial. El Estado tiene pertenencia en los salares, Corfo tiene en arriendo 2 pertenencias en el salar de Atacama (contratos pronto a terminar), y Codelco –Pedernales y Maricunga- y Enami –Aguilar. (Ministerio de Minería de Chile, 2018)

4 PRODUCTORES DE LITIO

4.1 Rockwood Lithium Limitada (Rockwood Litio Ltda, 2015)

Anteriormente conocida como Sociedad Chilena del Litio (1980), representa el segundo mayor productor nacional de litio. Rockwood Litio tiene sus operaciones ubicadas en el Salar de Atacama y a 20 km de Antofagasta, en el sector La Negra. Es una de las empresas pioneras en el desarrollo de litio en Chile, con más de treinta años de en la producción y procedimiento.

El proceso se inicia con el bombeo de las salmueras desde el núcleo del salar, para disponer de ellas en pozas de evaporación donde se aumenta la concentración de un 0,2% a un 6% de litio. Mientras se lleva a cabo este proceso de evaporación de la salmuera, ocurre la precipitación de distintos tipos de sales que son consideradas subproducto del proceso, como lo son el cloruro de potasio y cloruro de magnesio. Este proceso se realiza en la Planta

Salar de Rockwood Lithium. También se recupera el potasio del salar para la fabricación de fertilizantes.

La salmuera concentrada es llevada en camiones aljibe hasta la planta química de La Negra, y en ella se practican dos etapas: purificación y conversión química para obtener carbonato y cloruro de litio. Cuentan con una planta de extracción por solventes para la producción de carbonato de litio y otra para cloruro de litio. Su cadena productiva genera: carbonato de litio, carbonato de litio (grado batería), cloruro de litio, cloruro de potasio y cloruro de magnesio.

En 2016 la compañía obtuvo un permiso ambiental que le permitiría aumentar la extracción de salmuera y así duplicar su producción de carbonato de litio. (Rockwood Lítico Limitada, 2018)

4.2 Sociedad Química Minera de Chile S.A (SQM, 2015)

Es una de las empresas más influyentes dentro de Chile, en donde explotan recursos naturales como, el caliche y la salmuera, en el norte del país. Sus operaciones se establecen en Nueva Victoria, Tocopilla, Coya Sur, María Elena, Pedro de Valdivia, Salar de Atacama y Salar del Carmen.

SQM fue una empresa estatal llamada Soquimich, privatizada durante la dictadura militar de Augusto Pinochet en la década de 1980. Desde entonces, gran parte de las acciones pertenecen a la familia del dictador fallecido. El exyerno de Pinochet, Julio Ponce Lerou, se aseguró una tercera parte de SQM cuando la empresa fue privatizada.

Sociedad Química y Minera de Chile, fue creada en 1988, después de altos y bajos en la industria y el ámbito económico, para reorganizar la industria chilena del salitre para enfrentar los problemas que enfrentaba la industria. Su propiedad era compartida entre el Estado de Chile y la Compañía Salitre Anglo Laurato SA, luego se nacionalizó y finalmente se completó su privatización en el año 1988. Sus mayores accionistas son: Sociedad de Inversiones Pampa Calichera S.A con un 23,68%, Inversiones el Boldo Limitada con un 21,66% y The Bank of New York Mellon con un 15,97%.

SQM se caracteriza por ofrecer productos de alta calidad dentro de su línea de negocio (calidad ISO 9001), en la que desarrollan: nutrición vegetal de especialidades, yodo y derivados, litio y derivados, potasio y producción de químicos industriales. (Sociedad Química y Minera de Chile, S.A, Memoria Anual 2015)

5 APLICACIONES DEL LITIO

Las aplicaciones del litio se pueden dividir en usos convencionales, emergentes y futuros. Mientras los usos convencionales mostrarán un bajo crecimiento durante los próximos años, y las aplicaciones emergentes y futuras tendrán un alto crecimiento con una tasa igual o mayor a 15% anual. (Shawarz y Pérez, 2013)

A continuación, un cuadro explicativo con las aplicaciones y la tasa de crecimiento.

TIPO DE USO	APLICACIONES	TASA CRECIMIENTO DE DEMANDA
	Fabricación de vidrios y cerámicas	
<i>Convencional</i>	Grasas lubricantes de alta temperatura	Menor
	Aire acondicionado, polímeros, farmacéuticos...	

Tabla 5. Aplicaciones convencional

TIPO DE USO	APLICACIONES	TASA CRECIMIENTO DE DEMANDA
	Baterías de alta densidad energética	
<i>Emergentes</i>	Aleaciones de bajo peso en la industria aeroespacial	Alta (15% anual)
	Refuerzos de hojas de turbinas	
	Baterías de gran escala para almacenamiento de energía eléctrica	

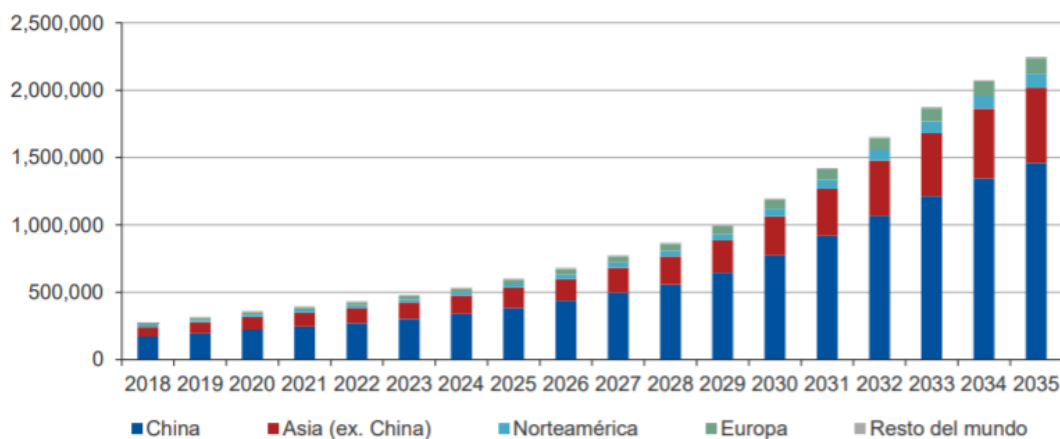
Tabla 6. Aplicaciones emergentes

TIPO DE USO	APLICACIONES	TASA DE CRECIMIENTO DE DEMANDA
<i>Futuro</i>	Baterías recargables para vehículos eléctricos	Alta a partir de 2015-2016
	Reactores de fusión nuclear	(Mayor o igual a 15% anual)

Tabla 7. Aplicaciones futuras. Cuadros creación propia

6 DEMANDA DEL LITIO

El litio es un importante metal en la industria y cada vez más en aumento en la manufactura de baterías. En 2011 se registró un consumo mundial de 132.000 toneladas de LCE, sin embargo, en el 2017 se notó el incremento notable a una cantidad de 221.000 toneladas. (USGS, 2017)



	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
China	170.483	194.098	222.966	245.925	270.950	301.233	338.478	383.860	437.396	497.923
Asia (sin China)	69.764	83.326	95.204	103.113	112.457	123.201	136.034	151.493	158.619	183.898
Norteamérica	12.650	14.125	15.822	17.679	19.547	21.945	25.092	28.915	34.021	38.279
Europa	17.156	17.882	18.606	19.111	21.787	24.442	27.082	28.775	42.063	46.390
Resto del mundo	7.186	7.370	7.638	7.736	7.961	8.172	8.421	8.544	8.707	8.930
Total mundial	277.240	316.801	360.236	393.563	432.703	478.992	535.107	601.586	680.806	775.419

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
China	558.487	643.788	771.977	917.655	1.067.666	1.212.180	1.344.596	1.459.084
Asia (sin China)	207.544	239.820	291.191	349.861	410.053	467.462	518.601	561.093
Norteamérica	42.482	48.402	57.427	67.688	78.141	88.027	96.717	103.679
Europa	50.740	56.758	65.831	76.199	86.704	96.742	105.511	112.560
Resto del mundo	9.197	9.448	9.703	9.997	10.287	10.651	10.997	11.336
Total mundial	868.450	998.217	1.196.130	1.421.399	1.652.852	1.875.062	2.076.422	2.247.752

Ilustración 42. Proyección de demanda de litio, 2018 - 2035 (toneladas de LCE). CRU

6.1 Demanda de litio según sus derivados

La demanda mundial del litio va en un constante crecimiento y no sólo se requiere litio metálico, sino que también son demandados sus productos, subproductos y derivados. En el diagrama se observan las proporciones desde SQM y COCHILCO, de acuerdo a un estudio de mercado que se realizó en 2014. (Méndez, 2011)

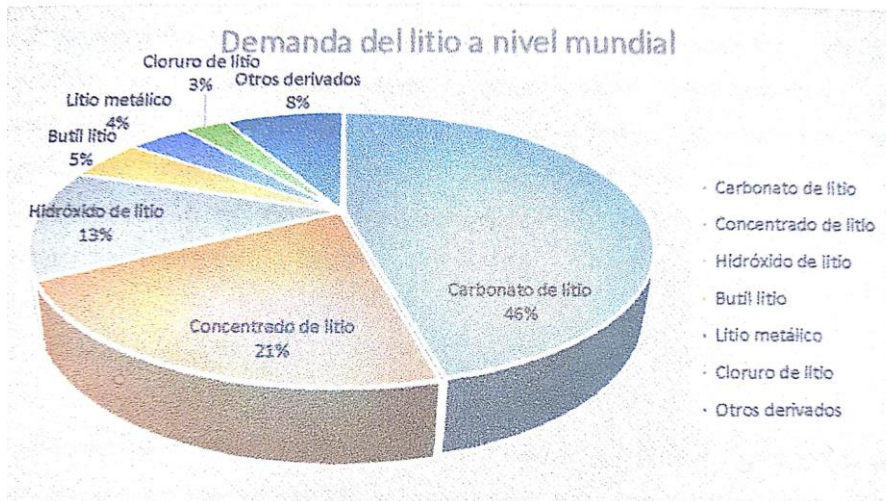


Ilustración 43. Demanda de litio a nivel mundial en función de sus derivados. COCHILCO y SQM

6.2 Demanda de litio según sus aplicaciones

En el año 2014 la industria del vidrio y las grasas lubricantes fueron responsables del 29% de la demanda, siendo una de las aplicaciones más importantes en el presente. Mientras que el aire acondicionado y los polímeros suman sólo un 10% de la demanda total del litio. Por otra parte, las baterías de litio alcanzan un 29% pero este porcentaje se está incrementando gracias al uso de baterías para vehículos eléctricos.

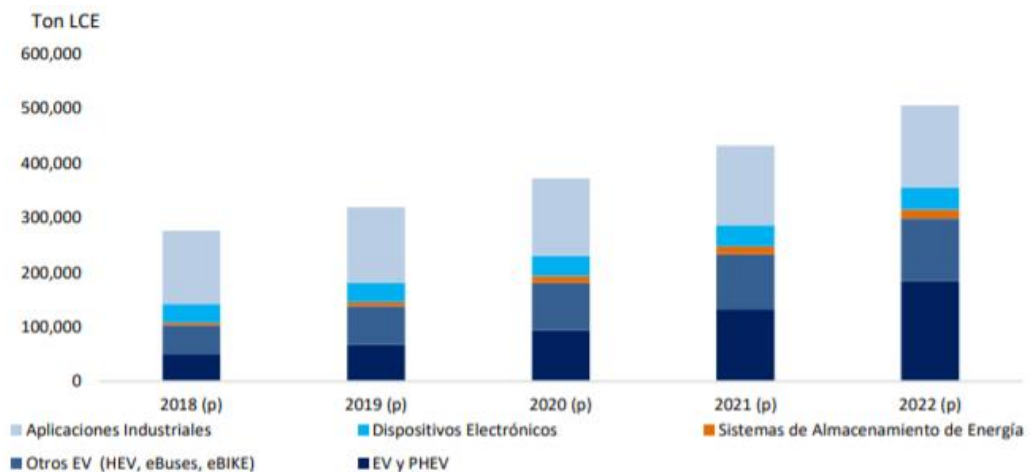


Ilustración 44. Proyección de demanda de litio al 2022 según sus aplicaciones. Mercado Internacional del litio y su potencial en Chile, COCHILCO.

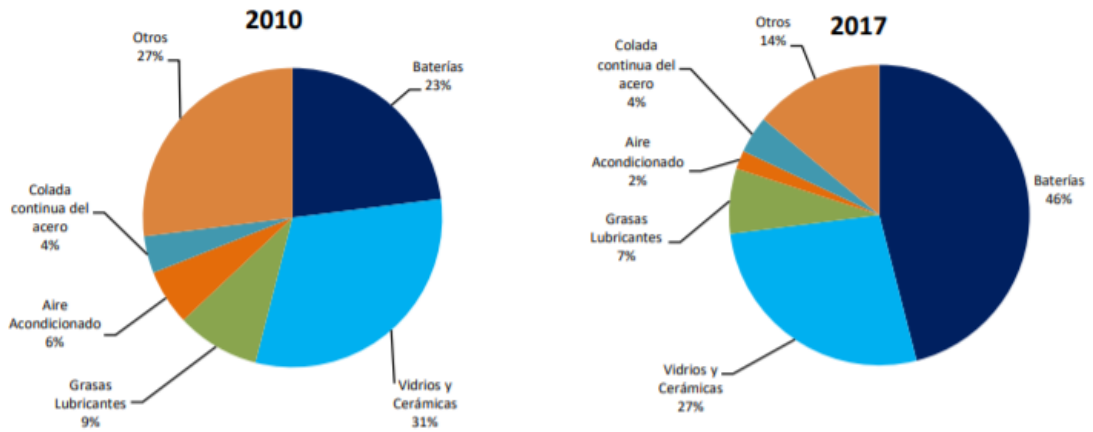


Ilustración 45. Informe de los metales en Chile. COCHILCO

7 USOS DEL LITIO

El litio, actualmente, es más conocido en su uso de las baterías de ión-litio utilizado para los teléfonos móviles u otros aparatos electrónicos. Sin embargo, el litio tiene una amplia variedad de usos e históricamente mayores cualidades que están siendo usadas en cerámicas e industria del vidrio.

A continuación, mostramos una tabla con los compuestos de sales de litio y su principal aplicación. Las proporciones son relativas, cambian con el tiempo y varían en función de diferentes lugares del mundo.

Compuesto	Aplicación principal	Participación de Mercado 2017	Participación de Mercado proyectada al 2027
Carbonato de Litio	Electrónica Cerámica Vehículos eléctricos	49,6%	41,8%
Cloruro de Litio	Aire acondicionado	18,6%	5,7%
Hidróxido de Litio Grado de batería	Vehículos eléctricos	9,5%	45,4%
Hidróxido de Litio grado técnico	Grasas Industriales	6,8%	1,9%
Butil litio	Polímeros	4,5%	1,5%
Litio metálico	Baterías primarias Aeroespacial	11,1%	3,7%

Ilustración 46. Compuestos de litio y participación en el mercado. COCHILCO

7.1 Baterías de litio

La elaboración de las baterías de litio está liderada por China, Japón y Corea del Sur. Las baterías de litio son dispositivos que están diseñados para almacenar energía eléctrica debido a una elevada capacidad energética, resistencia a la descarga y la ligereza de sus componentes. (Garcés, 2011)

Las pilas de litio presentan varias ventajas con respecto a las pilas tradicionales:

- Mayor densidad de energía por peso y volumen.
- Mayor vida útil entregando un voltaje constante.
- Menor peso.
- Funcionamiento a alta capacidad y bajas temperaturas.
- Mayor tiempo de almacenamiento.

Existen dos tipos de baterías de litio:

7.1.1 Baterías primarias no recargables o también llamadas pilas de litio.

Siendo descartadas cuando se acaban. Son cilíndricas y son utilizadas en todos los ámbitos de la electrónica de consumo. Su tasa de autodescarga es muy baja, alta densidad de energía (larga vida), alto costo por unidad, gran capacidad de potencia disponible. Dependiendo de los compuestos de diseño y químicos utilizados, las células de litio pueden producir voltajes de 1,5V a 3,7V aproximadamente. (Shawarz y Pérez, 2013)

Son adecuadas donde es necesario mucha energía. Entre otros usos destaca en la industria militar, ya que estas baterías fueron seleccionadas para defensa aérea. (Universidad de Antofagasta)

7.1.2 Las baterías secundarias o recargables.

Se les llama cuando su carga puede ser restablecida y utilizada de nuevo numerosas veces. Hay diferentes tipos de pilas recargables entre las cuales vamos a nombrar y explicar solamente las de nuestro interés para este trabajo. Por una parte, tenemos las pilas *NiCd* (*Nickel Cadmium / Níquel Cadmio*) aunque cada vez más en desuso por su poca vida útil y es muy contaminante y con efecto memoria. Otro tipo de pilas son las *NiMH* (*Níquel-Metal HYdride / Níquel Metal Hidreto*) son las más utilizadas actualmente, menos contaminantes, sin efecto memoria y mayor vida útil.

Para nuestro interés nos centramos en las baterías de *Li-Ion* (*Ión de Litio*), siendo estas cilíndricas/tubulares, más livianas y con mayor capacidad de almacenaje de energía y alta resistencia a la descarga y sin problemas del efecto memoria, soportando un gran número de ciclo de cargas. Sin embargo, se debe tener en cuenta la sensibilidad a altas temperaturas, pudiendo tener como resultado la destrucción por inflamación o explosión. Actualmente son más costosas que las de Níquel, ya que en su fabricación es necesario dispositivos adicionales de seguridad, por lo que ha limitado su uso. La batería de Litio también denominada batería Li-Ion, funciona de la

siguiente manera, es una pila recargable con dos o más celdas donde están separados los iones de litio, cuando funciona en modo de descarga los iones de una y otra celda se combinan químicamente para formar el elemento estable, esta combinación se produce de forma exotérmica, es decir, produce energía que es la que se aprovecha, cuando se ha agotado la batería es porque todos los iones están en su estado fundamental y no quedan más para seguir combinándose. Se emplean en uso de relojes, calculadoras, ordenadores portátiles y otros equipos electrónicos. (Garcés, 2011).

Las baterías de *Polímero-Litio* (*Li-poli*, *Li-Pol*, *LiPo*, *LIP*, *PLI* o *LiP*). En este caso como electrolito tenemos un polímero sólido. Con las mismas capacidades, estas baterías son cuatro veces más ligeras que las de Ni-Cd. Estas baterías requieren un trato muy delicado, con un riesgo de deterioro irreversible. El voltaje es de 3.7V.

Aunque las baterías Li-Ion y LiPo son prácticamente iguales existen unas pequeñas diferencias entre ellas. Las primeras usan como electrolito una sal de Litio contenida en un solvente orgánico (líquido) que proporciona los iones necesarios que circularán entre el cátodo hasta el ánodo durante la descarga. Con la diferencia de potencial que mueve a los electrones por el circuito al que está conectada la batería. Durante la carga se invierte la polaridad, generándose el proceso inverso, moviendo los iones del ánodo al cátodo.

En el caso de las baterías LiPo, el proceso es parecido, sin embargo, la sal de Litio está contenido en una especie de gel (compuesto polimérico) en vez de un líquido, lo que hace menos probable un derrame o al menos más controlado.

Para los usuarios, la principal diferencia entre las baterías es que las LiPo son más flexibles, se curvan (mayor resistencia a esfuerzos de deformación).

LITHIUM-ION BATTERY

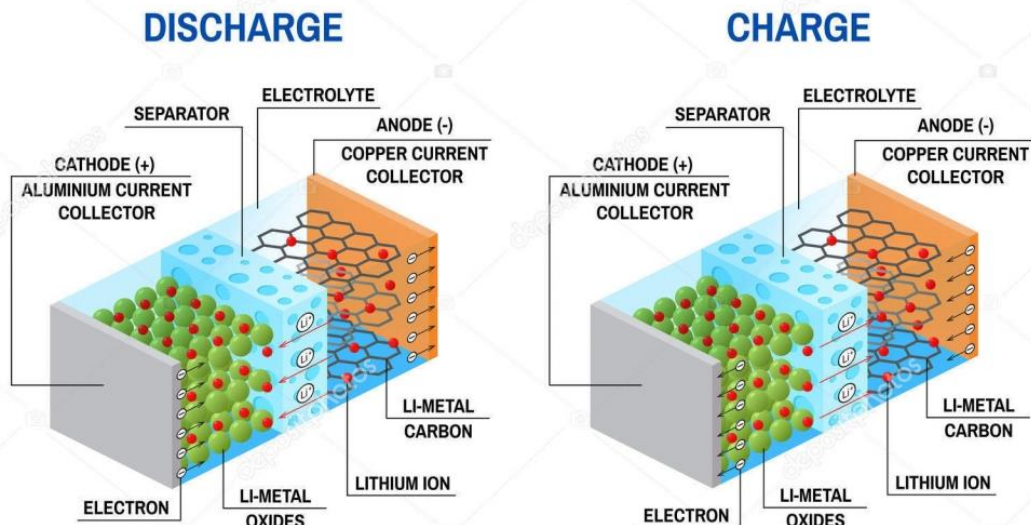


Ilustración 47. Carga y descarga de batería de Ión-Litio

7.2 Vidrio y cerámicas

En 2015, el 32% del total del litio consumido, fue en este sector. El óxido de litio es usado como un flujo porque reduce el punto de fusión y la viscosidad de compuestos a base de sílice, de este modo guarda la energía y reduce costos de producción. Como el litio tiene un bajo coeficiente térmico de expansión. El litio contiene vidrio o esmaltes en la cerámica que son más resistentes a temperaturas más altas y permiten que los productos sean capaces de soportar cambios repentinos de temperatura. El vidrio que contiene litio es también más resistente a los ataques químicos y ha mejorado su dureza y brillo. (SQM, 2012).

El litio cuando lo combinas con cobre crea colores azules y si lo combinas con cobalto produce colores rosas para la cerámica. (MineralsUK, 2016)

7.3 Grasas y lubricantes

Es un tipo de lubricante fluido que se ha combinado con un agente espesante. El hidróxido de litio (LiOH), cuando se calienta con una sustancia grasa que es una de las más usadas debido a su buena actuación y costo efectivo. Aproximadamente 9% en 2015 tuvo este uso. (MineralsUK, 2016)

Estas grasas son utilizadas en todo tipo de transportes: industriales, militares, aéreos, automotriz o marino, ya que conservan sus propiedades lubricantes en un amplio rango de temperatura, desde bajo cero hasta 200°C y poseen resistencia al agua y a la oxidación. (Garcés, 2011)

7.4 Aire acondicionado y control de humedad

El bromuro de litio y cloruro de litio, ambos, son higroscópicos, es decir que tiene la capacidad de absorber la humedad del medio circundante, y se usan como desecantes de corrientes de gas, por ejemplo, sistemas de acondicionamiento. El hidróxido de litio y peróxido de litio son usados para remover el dióxido de carbón encerrado en espacios, tales como submarinos o naves espaciales, convirtiéndolo en carbonato de litio. El peróxido de litio es particularmente útil en esas aplicaciones porque liberan oxígeno durante el proceso. (MineralsUK, 2016)

7.4.1 Metalurgia.

El litio metálico es usado como flujo en soldadura porque promueve la fusión de otros metales y al mismo tiempo absorbe impurezas. El litio es también aleado con aluminio, cadmio, cobre o manganeso en la fabricación de piezas de aviones.

7.4.2 Polímeros

Compuestos de organolitio, incluyendo butillitio, son usados en la producción de polímeros y similares usos químicos. En esos procesos el litio es un compuesto reactivo, catalizador o iniciador. Procesos químicos que son usados en la producción de caucho y plásticos.

7.5 Farmacología / Usos médicos

Una cantidad de compuestos de litio, incluyendo el carbonato de litio, son usados en medicina como drogas estabilizadoras del estado de ánimo para el tratamiento del desorden bipolar, tratamientos psiquiátricos y también para enfermedades no psiquiátricas, sin embargo, existe un riesgo de que para afecciones no psiquiátricas el litio puede ser ineficaz o incluso dañino. (MineralsUK, 2016)

El litio como catalizador en producción de analgésicos (calmar/eliminar el dolor de cabeza, muscular, artritis...), agente anticolesterol, antihistamínico (fármaco que sirve para reducir los efectos de alergias), tipos de tranquilizantes, vitamina A o algunos tipos de tranquilizantes. (Comisión Nacional del Litio, 2014)

7.6 Caucho sintético

Para la fabricación de este producto se utiliza el litio como compuesto órgano-metálico, en forma de butil-litio. Esto actúa como catalizador específico en la polimerización iónica del isopreno, estireno, butadieno, para así obtener cauchos, los que son empleados en la manufactura de neumáticos de alta duración y resistencia a la abrasión (Garcés, 2011)

7.7 Aluminio

Es producido por reducción electrolítica de alúmina, la cual se disuelve en un baño de criolita (Na_3AlF_6 , fluoruro de aluminio y sodio). La adición de carbonato de litio (Li_2CO_3) a este baño, reduce su punto de fusión, menor temperatura de operación y como consecuencia, aumenta la productividad, ahorrando energía y costo. (MineralsUK, 2016) (Méndez, 2011)

7.8 Industria automovilística

Uno de los grandes desafíos en la tecnología consiste en la fabricación de baterías de litio, lo suficientemente económicas, confiables y potentes para convertirlas en acumuladores de energía estándar de los vehículos de cualquier tipo y tamaño. (Cabrera, 2012)

Para los automóviles eléctricos que requieren de una batería para almacenar la energía generada por el motor a combustión interna y por diversos procesos que liberan energía. Los vehículos eléctricos híbridos, tienen la particularidad que se conectan a la red eléctrica para recargar la batería, por lo que se necesitan baterías livianas, poco volumen y gran capacidad de almacenamiento. Las baterías de Li-ion son las que mejor responden a estos requerimientos, sin embargo, la mayor parte de los automóviles no utilizan estas baterías (Cabrera, 2012)

7.9 Energía nuclear

El mineral es candidato para la creación de futuros reactores nucleares de fusión controlada, que son los que utilizan deuterio y tritio como combustibles. El tritio se obtendría irradiando litio con neutrones. Mientras que el consumo de litio como combustible para generar tritio no es significativo, pero si lo puede ser al utilizarse como escudo de radiación y como medio de transferencia de calor.

Actualmente, existen investigaciones con el propósito de apoyar los experimentos nucleares, entre los que destaca el ITER (Internacional Thermonuclear Experimental Reactor). Reactor que se encuentra en construcción en Francia y es el primero de una serie de reactores con una única visión de avanzar en el desarrollo nuclear como fuente de energía eléctrica. Existe otro reactor llamado DEMO de 2.000 MW de potencia, este reactor estará en activo en 2040 y generará electricidad proveyéndose de tritio a partir de generadores de litio.

Y los planes para el 2050, son que debería estar en operación el primer reactor comercial de fusión PROTO, de 1.500 MW de potencia, para que la producción de energía eléctrica se vea consolidada. (Méndez, 2011)

7.10 Metalurgia

Se emplea para extraer los gases de fundición de ciertos minerales y también para evitar la tendencia a que se forme una capa de óxido durante la elaboración del acero. (Literatura química del litio)

7. 11 Otros usos

Si artificialmente han crecido como cristales, el fluoruro de litio es limpio, transparente y tiene un bajo índice de refracción, lo que significa que es adecuado para el uso de la óptica infrarroja ultravioleta. El fluoruro de litio es también usado en lentes focales de telescopios. Litio

metálico e hidruro de litio por se usan como aditivos de alta energía en la propulsión de cohetes. Ciertos isótopos de litio son usados también en los reactores y armas nucleares. (MineralsUK, 2016)

Cadena de valor del litio



Ilustración 48. Cadena de valor del litio. Universidad Nacional de Jujuy

8 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

La zona del Salar de Atacama es una de las zonas más protegidas por el Estado chileno, sin embargo, no exige la conservación de los ecosistemas. En muchos de los salares existen humedales de importancia internacional que sirven como hábitat de aves acuáticas y son ecosistemas de especies únicas. El Salar de Atacama posee un área bajo protección oficial perteneciente al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) correspondiente a la Reserva Nacional Los Flamencos. Colinda con aproximadamente 50 asentamientos humanos y la mayoría son áreas de desarrollo de pueblos indígenas. (SQM, 2015)

Existe una contaminación tanto del aire, de los suelos y del agua. Hay un factor añadido y de gran importancia, el agua en la zona donde se ubican los salares predominan por su escasez. (Comisión Nacional del Litio, 2014)

El método de evaporación que se utiliza para bombardear las salmueras es una acción mecánica que se encarga de conectar las napas saladas con las dulces. La disposición de estas napas son inversas a la densidad, las saladas se encuentran ubicadas en la superficie mientras que las dulces están situadas a mayor profundidad. La rotura del estrato que las

mantiene aisladas entre si hace inevitable la contaminación cruzada de las napas. (Comisión Nacional del Litio, 2014)

Estas son zonas áridas y desérticas y el agua juega un rol fundamental para la concordancia de la vida humana, animal y vegetal. Actualmente se desarrollan diversas actividades en la cuenca relacionadas con la explotación de litio, sodio, bórax y potasio por las empresas SQM y Rockwood Lithium, ejerciendo una gran presión en la zona por el agua de la cuenca. (Bolados, 2014)

El impacto ambiental de la extracción del litio es un proyecto de gran envergadura: el consumo, la contaminación del agua, los niveles salinos, el impacto paisajístico, la construcción de caminos, la instalación de la infraestructura, el impacto de actividad industrial en la flora y fauna del sector, la generación de residuos sólido y químicos... (Portal Minero, 2014)

El anterior Subsecretario de Minería Ignacio Moreno, afirmó en una entrevista al Diario La Segunda, que el impacto medioambiental que tendrán los nuevos proyectos de explotación de los salares, tendrá el mismo impacto que genera la minería metálica. (Comisión Nacional del Litio, 2014)

La empresa SQM tiene el control de todos los residuos sólidos, líquidos, no peligrosos y los industriales, lo que implica un manejo adecuado de los residuos. Por mediación de SQM, una empresa externa reutiliza el 50% de los residuos peligrosos y lo convierte

9 CONCLUSIONES

El litio supone para el país una fuente de ingresos muy importante que, a su vez, permitirá elevar las inversiones mineras y Chile podrá diversificar su fuente económica que, hasta hace poco tiempo atrás provenía mayoritariamente del cobre. No obstante, el cobre continuará siendo el principal producto de exportación de Chile.

Chile, por sí solo, pertenece a los países que van a la cabeza con recursos de litio. En la cúspide, encontramos a Chile y Australia que se adjudican siempre los primeros puestos.

El litio, está en continuo crecimiento y podría transformarse en un ingreso para el país a nivel del vitivinícola, salmonera o forestal.

Chile se ha visto beneficiado con el auge de este nuevo metal, pero también ha supuesto un reto al país. No solo por el hecho de la rentabilidad económica que respecta al descubrimiento de éste, sino que también se ha invertido tiempo y dinero en nuevas formas extractivas. En esta cadena de valor, a parte de la industrialización del país, se ve implicado un proceso productivo de la materia prima para dar lugar a subproductos y posterior comercialización, sin dejar de lado el estudio continuo para desarrollo de este metal.

Es importante el apoyo tanto del sector público como privado para llevar a cabo el desarrollo de este ciclo.

Principalmente, el litio está destinado a las baterías de almacenamiento de energía para automóviles eléctricos y aparatos electrónicos. Hoy en día, muchos de los dispositivos de los cuales nos rodeamos contienen litio, aunque sea en bajas proporciones.

No obstante, existe un gran problema si el país es menos desarrollado. Lógicamente, tener menos recursos económicos, implica una capacidad de industrialización es menor. Este es, entre otros el caso de Bolivia, sin embargo, Bolivia es uno de los países contenido en el “Triángulo del Litio”. También uno de los que más recursos tiene a nivel mundial. El conflicto surge cuando, por mucha rentabilidad que el país quiera obtener del litio, no tienen la capacidad, de una vez extraído, trabajarlo para finalizar todo el proceso de la cadena de valor para sacarle el máximo beneficio, sino que se ve en la tesitura de venderlo a países como China para que operen la materia prima.

Por otra parte, surge el impacto medioambiental. Aunque muchas de las áreas están protegidas por el Estado, siendo prioridad aquellas que poseen características ecológicas únicas, alimentación, refugio, reproducción y hábitat para especies de vegetación y fauna, dando lugar a una biodiversidad peculiar. Sin embargo, esto no garantiza la conservación de los ecosistemas en el futuro, ya que varios de los salares ya presentan un daño por la extracción de salmueras.

Todo esto atrae tanto a turistas como a inversionistas y empresa minerales para invertir en el país y este cúmulo genera un ingreso positivo al país.

El “triángulo del litio” atrae tanto a turistas, bueno para actividad económica de estos países, como a empresas minerales interesadas en invertir.

Al obtenerse en un proceso de evaporación consume mucha agua y otros de los principales problemas que genera esto, es que estas reservas se encuentran en regiones con déficit de agua, sumado a una contaminación global de agua, suelos y aire, bajando así el nivel las aguas subterráneas en las regiones, los cursos fluviales y los humedales se están secando.

Dentro de todos los salares que se han explicado a lo largo del trabajo de investigación, Chile es uno de los países con mayores reservas y que genera una gran producción del producto, no obstante, las empresas les gustan los países latinos, ya que el coste de extracción es mucho menor a otros.

Dentro de los países latinos, Chile se posiciona como uno de los países más estables a nivel político, económico, social y de seguridad. Pero, como no cabe duda, que el hace la ley hace la trampa, el Gobierno de Chile tiene que tomar medidas, ya que a pesar de haber datos verídicos sobre que las empresas privadas extraían cierta cantidad de litio y luego no declaraban toda esa cantidad real, lo que implica pérdidas para el país. Teniendo en cuenta que muchas concesiones el Estado las ha dejado en manos de empresas privadas, tampoco

creo que sea lo más beneficioso para el país. El gobierno de Chile debe jugar con estrategia para que el beneficio de los chilenos sea el máximo posible y poder enriquecerse, aprovechando la reclamación que se tiene por este mineral. Ya que, en contraparte, también está poniendo en peligro fauna, flora y agua de estas zonas.

Bajo mi punto de vista, pienso que Chile sabrá organizarse como país. Lleva muchos años explotando su zona norte con el mineral cobre y realmente cada país tiene que explotar sus recursos, siempre en la medida de lo posible, sin hacer destrozos que no tengan luego solución.

Es un tema que genera controversia, la extracción de minerales, ya que en cualquier país que haya explotaciones mineras tienen personas/organizaciones que apoyan la causa o no. Son entendibles ambos puntos de vista y sinceramente, me cuesta mucho posicionarme sobre qué es lo mejor o lo peor para el país dentro del equilibrio y hasta en qué momento deja de ser beneficioso para las zonas de extracción y se convierte en algo realmente perjudicial. No podemos olvidar que tanto el gobierno como las empresas que lo explotan no pierden de vista el punto económico, pero en el caso de Chile, son zonas que por ganando mucho con la explotación de este mineral pueden perder flora y fauna que en la mayoría y en el peor de los casos, sea imposible que una vez extinguida se vuelva a reproducir.

Viendo que todo tiene su parte positiva y negativa, hay que buscar le punto medio, aunque eso es muy fácil en la teoría y bien complicado en la práctica.

Como futuras líneas de estudio e investigación, entre otras, propondría la industrialización de los países latinos y la optimización de las baterías de litio debido, a las cuales, la demanda de éste se ha incrementado considerablemente.

10 BIBLIOGRAFÍA

1. Características de los minerales. <https://www.mineral-s.com/espodumena.html>
2. Reservas, recurso y producción. <https://www.eabolivia.com/social/2361-litio-una-esperanza-de-desarrollo.html>
3. Codelco Memoria, 2016.
<https://www.codelco.com/memoria2016/pdf/mem2016codelco-recursos-reservas.pdf>
4. Informe sobre el litio 2018 de BBVA Research y del USGS.
https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2018/07/180730_LitioCobalto_esp.pdf
5. Comisión del litio Chile 2014.
[https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2014%2012%2001%20LA%20EXPLOTACI%C3%93N%20DEL%20LITIO%20EN%20CHILE%20\(2\).pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2014%2012%2001%20LA%20EXPLOTACI%C3%93N%20DEL%20LITIO%20EN%20CHILE%20(2).pdf)

6. Servicio Nacional de Geología y Minería. <https://www.sernageomin.cl/>
7. Comisión Chilena del Cobre. <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Mercado%20internacional%20del%20litio%20y%20su%20potencial%20en%20Chile.pdf>
8. Triángulo del Litio. <https://actualidad.rt.com/actualidad/233340-america-sur-triangulo-litio-proximo-medio-oriente>
9. Litio en Bolivia. <https://www.eabolivia.com/economia/7055-litio-en-bolivia-el-oro-del-futuro.html>
10. Lake Zabuye. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-china>
11. Litio en Rusia. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-russia>
12. Val d'Or, Quebec. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-canada>
13. Fundación Terram, 2016. Mina Silver Peak. <http://www.terram.cl/wp-content/uploads/2016/06/Explotaci%C3%B3n-Litio-USS-23-Junio-2016.pdf>
14. Litio en el Salar del Hombre Muerto. <https://es.scribd.com/document/383193201/APLICACIONES-DE-LA-MINERIA-docx>
15. Litio en el Salar del Rincón. <http://www.indmin.com/pdfs/697/67093/exp200706099.pdf>
16. Fundación Terram, 2016. Mina Searle Lake. <http://www.terram.cl/wp-content/uploads/2016/06/Explotaci%C3%B3n-Litio-USS-23-Junio-2016.pdf>
17. The Georgia Mineral Society, 1935. www.gamineral.org/BessemerCity.htm
18. Ministerio de Minería Chile. <http://www.minmineria.gob.cl/extraccion-del-litio-desde-el-mineral/>
19. SQM. Salmueras. <https://www.fayerwayer.com/2010/01/extrayendo-litio-en-el-salar-de-atacama/>
20. Dirección General de Desarrollo Minero de México. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_litio_2014.pdf
21. SQM. Procesos productivos. <https://app.sqm.com/aspx/AcercaDe/ProcesoProduccion.aspx>
22. Ministerio de Minería de Chile. Procesos Productivos. <http://www.minmineria.gob.cl/actual-marco-legal-del-litio/>
23. Guía minera Chile. Rockwood Litio Ltda. <http://www.guiaminera.cl/rockwood-litio-ltda/>
24. Sociedad Química Minera de Chile, Memoria Anual, 2015. http://www.bolsadesantiago.com/Noticiascibe/avisos%20generales/SQM/memanu_20160407163513_32970.pdf
25. Servicio Geológico de Estados Unidos. (USGS, 2017) <https://www.usgs.gov/centers/nmic/state-minerals-statistics-and-information>

26. Cochilco. Informe del Mercado de los Metales.
<https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Informe%20Litio%209%2001%202019.pdf>
27. Tecnología e informática. Tipos de batería en Chile. <https://tecnologia-informatica.com/pilas-recargables-pilas-y-baterias-de-litio/>
28. Mineral Commodity 2019. Información General minerales. https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/mcs2019_all.pdf
29. MineralsUK. Usos del Litio.
<http://www.bgs.ac.uk/mineralsUK/statistics/mineralProfiles.html>
30. Literatura química del litio. Metalurgia.
<http://literaturaquimicaellitio.blogspot.com/p/usos-y-aplicaciones.html>
31. British Geological Survey, BGS. <file:///C:/Users/Elena/Downloads/lithiumProfile.pdf>
32. Guía Minera. Mercado internacional y potencial en Chile.
<http://www.guiaminera.cl/mercado-internacional-del-litio-y-su-potencial-en-chile/>
33. Unidad de planeación minero energética. http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercado-inter/Producto3_Litio_FINAL_11Dic2018.pdf
34. Mina de litio en Australia. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-australia>
35. Mina de litio en Argentina. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-argentina>
36. Mina de litio en Canadá. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-canada>
37. Mina de litio en Bolivia. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-bolivia>
38. Mina de litio en China. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-china>
39. Mina de litio en EEUU. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-usa>
40. Mina de litio en Rusia. <http://www.lithiummine.com/lithium-mining-in-russia>
41. Lusa de Montalegre, Portugal.
https://www.lavozdegalicia.es/noticia/economia/2019/04/09/luz-verde-mayor-mina-europea-litio/0003_201904G9P31997.htm?pag=noticia&posc=rel_inferior&itemlst=1&fbclid=IwAR382pMvwlo1FA1WMTTKAvH5K6JoufwUdd7Bs9WWCF_aqil38NEb-QknuPU
42. Retortillo, España. https://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/9652102/01/19/Berkeley-encuentra-oro-litio-y-cobalto-en-la-mina-de-uranio-de-Salamanca-y-se-dispara-en-bolsa-.html?fbclid=IwAR30_nnFHZrAYUPSz-e6W_VbYKGIzj513BQi-0GfWVJKqRMDieNF_zZqDOo
43. Cañamero, España.
https://elpais.com/sociedad/2018/12/27/actualidad/1545899931_764085.html?fbclid=IwAR06L4UeOsf8lc-XG3C2LbsRkP_z4LGC5YcuPARSpDN8xBE8WKmfM4FgrhY
44. Baterías secundarias o recargables. <https://www.bateriasdelitio.net/?p=6> ;
<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf> ;
<https://www.androidpit.es/bateria-li-ion-vs-lipo-tipos-comparacion>

45. Glosario minero.
<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
46. Vocabulario minero. <http://corazondeminero.blogspot.com/p/vocabulario-minero.html>
47. Glosario minero exclusivo de Mina el Teniente.
<http://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/MC0047730.pdf>
48. Documento de materias primas fundamentales de la UE, 2017.
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/ES/COM-2017-490-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>
49. Áreas protegidas en la Región de Antofagasta.
<http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26194/CIREN-HUMED047-%20AP-RII.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
50. <https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dsecretaria/Periodo2017/PDF2017/TP2017/6270-D-2017.pdf>