



Comisión Chilena del Cobre
Dirección de Estudios

MERCADO INTERNACIONAL DEL LITIO
Diciembre 2013
(DE/09/2013)

Resumen ejecutivo

El presente informe ha sido elaborado por la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), en su calidad de asesor técnico y especializado en la formulación de políticas públicas en materias relativas a las sustancias minerales metálicas y no metálicas, y obedece al propósito de la Subsecretaría de Minería de contar con una visión actualizada del mercado internacional del litio a fin de contextualizar la situación de Chile y analizar, a la luz de antecedentes técnicos, la política vigente para esta sustancia.

La primera mirada puesta sobre la oferta de litio indica que los recursos son abundantes en salmueras y minerales, aunque actualmente se explotan en un reducido número de países. Las mayores reservas se registran en Bolivia, Chile y Argentina. Sin embargo, el creciente interés por el litio ha significado que se desarrollen mayores capacidades de producción incluyendo a nuevos países productores como Canadá. Actualmente, la producción mundial utiliza solo el 58% de la capacidad instalada, aunque Chile, que ha liderado la producción de litio desde mediados de los '90, utiliza el 86% de su capacidad instalada.

A más largo plazo, se prevé que desarrollos tecnológicos permitirán explotar nuevos y abundantes recursos minerales. Por lo tanto, respecto a la oferta de litio se puede afirmar que no es un recurso escaso ni lo será en un futuro previsible.

Respecto de la demanda, destacan cinco principales países o regiones consumidores de litio, que son China en primer lugar con 35% del consumo total de alrededor de 150.000 t de LCE (carbonato de litio equivalente) seguido por Europa (24%), Japón (11%), Corea del Sur (10%) y Norteamérica (EEUU y Canadá, 9%). Por su parte, la demanda asiática suma más de la mitad del total mundial.

Cabe destacar que la distancia física entre los principales consumidores y productores ha llevado a crear asociaciones estratégicas entre compañías mineras, químicas y grupos empresariales con diversas líneas de negocios en los cuales aplican el litio. Ello se ha visto particularmente activo entre actuales y futuras productoras provenientes de Australia, Canadá y Argentina, en conjunto con las asiáticas, presentes en China, Japón y Corea del Sur.

Se estima que las aplicaciones tradicionales del litio mostrarán un bajo crecimiento durante los próximos años, las numerosas aplicaciones emergentes y las futuras relacionadas al almacenamiento de energía, en especial las baterías recargables Li-Ion, de gran interés en la actualidad, tendrían un alto crecimiento en torno al 15% anual.

Respecto al interés nuclear, el litio ha sido considerado como un material fundamental para el desarrollo de los reactores de fusión nuclear, cuyo futuro aun está incierto y en plena etapa de investigación y desarrollo. Todavía no hay certeza si realmente es una fuente viable de energía para el consumo masivo y para cuándo se podría esperar su uso comercial. Sin embargo, se estima que recién en la segunda mitad de este siglo se iniciaría la construcción de los primeros reactores comerciales lo que podría eventualmente causar una estrechez temporal de la oferta de litio.

Actualizados los antecedentes de mercado, el presente informe analiza los elementos estratégicos del litio, revisando los lineamientos de políticas públicas internacionales,

donde solo Chile y Bolivia lo consideran no concesible y Argentina le otorga un cariz estratégico, según criterios particulares de las provincias que poseen este recurso.

Sobre la base de los antecedentes disponibles, luego se expone un análisis FODA, del cual se desprende que las fortalezas de Chile radican en la cantidad y calidad de sus recursos en salmueras, de la capacidad de explotarlas a bajo costo y al clima de inversión prevaleciente en el país. Sin embargo, anota debilidades en términos de maximizar los beneficios económicos provenientes de su explotación.

La mayor oportunidad que aún tiene Chile radica en que es muy atractivo para la inversión por la calidad de sus recursos y sus políticas económicas, por lo que el perfeccionamiento del marco regulatorio del litio permitiría un mejor aprovechamiento de él en términos económicos.

En resumen, desde el punto de vista de mercado, en los pasados 30 años Chile no ha tenido una estrategia definida en términos de su uso en el ámbito de la fusión nuclear, que inicialmente ha sido el argumento para declararlo de interés nuclear y, por ende, estratégico. En términos económicos, en tanto, el mercado mundial se ha mostrado muy dinámico, por lo que es deseable actuar en concordancia con este dinamismo, para que Chile recupere la posición de líder en producción que mantuvo por tantos años en el mercado.

En consecuencia, COCHILCO presenta a la consideración de la Subsecretaría de Minería la siguiente proposición:

Sobre la base de los antecedentes de mercado, actualmente disponibles y expuestos en este informe, se estima que ya no hay mayor fundamento técnico para mantener el atributo de estratégico específicamente para el litio y su condición de no concesible. Ello es compatible con la mantención del litio como sustancia de interés nuclear, en las mismas condiciones del uranio y el torio, es decir, como sustancia concesible y reservándose el Estado la primera opción de compra, si así lo aconseja el interés nacional.

Contenido

Resumen ejecutivo	II
1. Introducción	1
2. Oferta	2
2.1 Recursos y reservas	2
2.1.1 Estimaciones de recursos mundiales	2
2.1.2 Potencial de salares	4
2.2 Tecnologías de producción de litio	5
2.2.1 Tecnologías de extracción de litio	7
2.2.2 Comparación competitiva de las tecnologías extractivas	11
2.3 Producción minera	13
2.4 Producción de litio según fuente	15
2.4.1 Producción a partir de salmueras	16
2.4.2 Producción a partir de minerales de litio	16
2.5 Asociaciones estratégicas de las compañías productoras	17
2.6 Oferta potencial	18
2.6.1 Producción potencial de litio a partir de minerales	18
2.6.2 Producción potencial de litio a partir de salmueras	20
2.6.3 Proyección de la capacidad instalada hacia 2020	21
3. Usos y aplicaciones del litio	21
3.1 Usos y consumo actual por tipo de aplicación	22
3.2 Usos y consumo por aplicación y tasa de crecimiento	25
3.3 Demanda actual y su distribución geográfica	26
3.4 El litio en la fusión nuclear	27
4. Flujo internacional del litio	29
4.1 Comercio internacional de los compuestos básicos de litio	29
4.1.1 El mercado del carbonato de litio	29
4.1.2 El mercado del cloruro e hidróxido de litio	31
4.2 Flujo internacional de materia prima	31
5. Elementos estratégicos del litio	33
5.1 Políticas públicas internacionales en el ámbito del litio	33
5.2 Marco regulatorio en Chile	34
5.2.1 Política específica para el litio en Chile	34
5.2.2 Modalidades de explotación	35
5.2.3 Comercialización	35
5.2.4 Organismos públicos involucrados en la minería del litio en Chile	36
5.3 Análisis FODA	37
5.4 Análisis del carácter estratégico del litio	39
5.4.1 Liderazgo de Chile	40

5.4.2	Asociaciones estratégicas en otros países	40
5.4.3	Expectativas de la demanda	41
5.4.4	Contribución al ingreso del país	42
5.5	Proposición.....	42
6.	Referencias.....	43
	Abreviaciones	45
	Anexos.....	46

Índice de figuras

Fig. 1:	Tamaño de las principales industrias mineras en 2012 (MMUS\$).	1
Fig. 2:	Distribución de los recursos de litio en el mundo por país.	4
Fig. 3:	Fuentes y cadena de producción del litio	6
Fig. 4:	Cadena de producción primaria y secundaria de litio.....	7
Fig. 5:	Proceso de producción de carbonato de litio a partir de la salmuera del Salar de Atacama, Sociedad Chilena del Litio.....	8
Fig. 6:	Flujo de proceso de la planta de osmosis inversa de litio.	9
Fig. 7:	Proceso de extracción por solvente de litio LiSx™ desarrollado por Bateman Lithium.	10
Fig. 8:	Producción de carbonato de litio a partir de arcillas sedimentarias (hectoritas).	11
Fig. 9:	Producción de litio en toneladas de LCE.	14
Fig. 10:	Participación porcentual de los cuatro mayores productores de litio.	15
Fig. 11:	Principales productores de compuestos básicos de litio a partir de salmueras.....	16
Fig. 12:	Principales productores de concentrado de minerales de litio.	17
Fig. 13:	Participación porcentual proyectada en el total mundial de la capacidad productiva de LCE.	21
Fig. 14:	Cadena de producción del litio.	23
Fig. 15:	Participación de las diversas aplicaciones en la demanda mundial del litio en 2012 (150.000 t LCE).	24
Fig. 16:	Proyecciones de consumo de litio en relación a sus aplicaciones y el respectivo crecimiento.....	25
Fig. 17:	Evolución de la demanda mundial de litio durante la última década en t LCE.	26
Fig. 18:	Participación en el consumo mundial según país/región en %.	27
Fig. 19:	Participación en la producción de carbonato de litio.....	29
Fig. 20:	a.) Principales países exportadores de carbonato de litio entre 2005 y 2012. Las exportaciones globales ascienden a casi 80.000 t de carbonato de litio en 2012. b.) Su participación porcentual en 2012. Chile y Argentina suman más del 80% del total global.....	30
Fig. 21:	Participación global de los principales importadores de carbonato de litio en 2010 y 2012.	30
Fig. 22:	Distribución geográfica de centros de extracción y conversión de litio, y el flujo global de materia prima.....	32

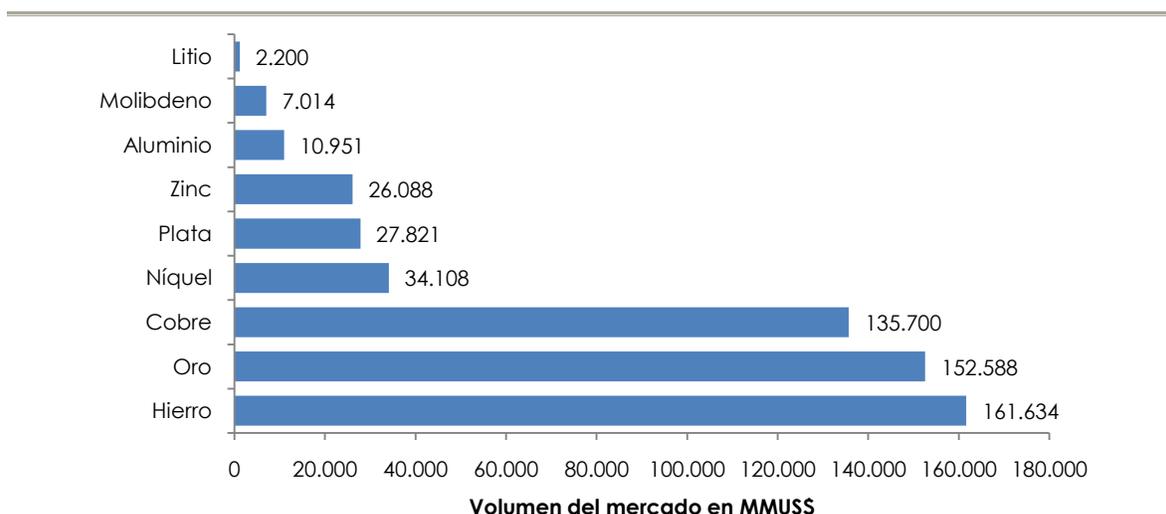
Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de estimaciones de recursos y reservas mundiales de litio metálico	3
Tabla 2. Estimación de recursos de acuerdo a las fuentes señaladas.	3
Tabla 3. Factores claves que determinan la viabilidad de extracción de litio a partir de salmueras.....	4
Tabla 4. Comparación de las características relevantes de salares en el mundo (ranking descendente según concentración de litio).....	5
Tabla 5. Costos de producción según país y tipo de materia prima.....	12
Tabla 6. Comparación competitiva de tecnologías extractivas	13
Tabla 7. Estimaciones de la producción mundial por país (t de LCE)	14
Tabla 8. Distribución global de la producción de litio según fuente y país.	15
Tabla 9. Capacidad productiva adicional hasta 2017 por año de puesta en marcha de proyectos según tipo de yacimiento y país en tpa de LCE	19
Tabla 10. Capacidad total proyectada según país en tpa de LCE	20
Tabla 11. Los productos del litio y sus principales aplicaciones asociadas.	24
Tabla 12. Clasificación de aplicaciones según su crecimiento.....	25
Tabla 13: Políticas públicas en el ámbito del litio en otros países	33
Tabla 14. Empresas que mantienen concesiones constituidas antes de 1979 en los 15 salares	35
Tabla 15. Matriz del análisis FODA: Fortalezas y debilidades de la minería de litio en Chile	38
Tabla 16. Matriz del análisis FODA: Oportunidades y amenazas de la minería de litio en Chile	39

1. Introducción

En 2012, el volumen del mercado mundial del litio fue estimado en US\$2.200 millones (Roskill, 2013), es decir, muy inferior a otras industrias mineras como del cobre, oro o hierro (Fig. 1). Sin embargo, se pronostica un futuro dinámico de la demanda y oferta debido a la tendencia actual del desarrollo de baterías de litio y vehículos eléctricos, lo que conllevaría un creciente uso y un aumento en su demanda. Cabe destacar que aun con un crecimiento importante es un mercado muy menor al del cobre.

En este contexto, Chile tiene una posición privilegiada en el lado de la oferta, ya que alberga importantes recursos a nivel mundial y es uno de los principales productores de compuestos de litio. Si bien es así, en la economía nacional juega un rol menor, abarcando exportaciones por US\$305 millones FOB, lo que corresponde solo a un 0,4% del total de los envíos nacionales y un 0,6% de las exportaciones mineras totales.



Fuente: COCHILCO

Fig. 1: Tamaño de las principales industrias mineras mundiales en 2012 (MMUS\$).

El mercado del litio es relativamente pequeño comparado con otros sectores tales como el oro o el hierro, y es solo 1,3% del mercado del cobre.

Sin embargo, el liderazgo mundial de Chile se ha visto afectado dado que otros países han alcanzado niveles parecidos, como Australia, cuya producción recientemente superó la de Chile.

Frente a este escenario, para mantener y/o mejorar la competitividad de Chile es necesario comprender la mecánica del mercado, los factores que inciden en él, conocer los principales actores y las perspectivas de mediano y largo plazo. En base a ello, se podrán desarrollar propuestas de políticas públicas y tomar las acciones necesarias.

Por lo anterior, y a petición del Subsecretario de Minería Francisco Orrego, en el marco del presente trabajo COCHILCO recopiló antecedentes de diversas fuentes tanto públicas como de consultoras especializadas en el tema, y se desarrolló el correspondiente análisis técnico para explicitar la posición competitiva de Chile en el mercado del litio.

Para exhibir la información en el contexto correspondiente, se presentan primero los usos del litio, seguido por la distribución geográfica de los recursos en el mundo y tecnologías extractivas. A continuación se detalla la estructura internacional del mercado, incluyendo a la oferta y demanda actual, y se estima la oferta potencial durante los próximos años, pero no incluye la visión prospectiva de la demanda potencial. Para terminar se presentan las estrategias políticas de los principales países de este mercado y un análisis FODA que evalúa los puntos más destacables de la situación actual del mercado del litio para Chile.

2. Oferta

Para poder entender la estructura del mercado del litio es fundamental analizar y cuantificar las variables de la oferta tales como recursos y reservas mundiales, las tecnologías de extracción y la producción minera.

2.1 Recursos y reservas

Existen diversas fuentes de litio en todo el mundo, entre ellas los minerales de litio en rocas pegmatíticas¹ y sedimentarias², y las salmueras en salares, campos de petróleo y geotermales, y el agua del mar. En la actualidad, la extracción a partir de pegmatitas y salmueras de salares es la más común.

2.1.1 Estimaciones de recursos mundiales

Respecto del volumen de los recursos mundiales de litio, las estimaciones difieren mucho en el tiempo y de fuente a fuente. Ellas varían entre 28 y 60 Mt (Tabla 1). Estas diferencias se deben a que los diversos estudios incluyen un número distinto de depósitos y las metodologías de estimación no son consistentes. Además la calidad de los volúmenes de rocas y leyes de litio reportados difieren de depósito a depósito.

No obstante lo anterior, y de acuerdo a la evaluación de las diversas fuentes, se estima que los recursos ascienden a 36,7 Mt, sin considerar el litio contenido en el agua del mar. Esta cifra se basa en la comparación de diversas fuentes señaladas en Tabla 2.

¹ Rocas magmáticas de granos muy gruesos que se formaron a partir de la cristalización de magma en la corteza terrestre y contienen concentraciones recuperables de elementos como litio, estaño, tantalio, niobio, berilio, entre otros.

² Rocas que se forman a partir de la depositación y solidificación de sedimentos.

Tabla 1. Comparación de estimaciones de recursos y reservas mundiales de litio metálico

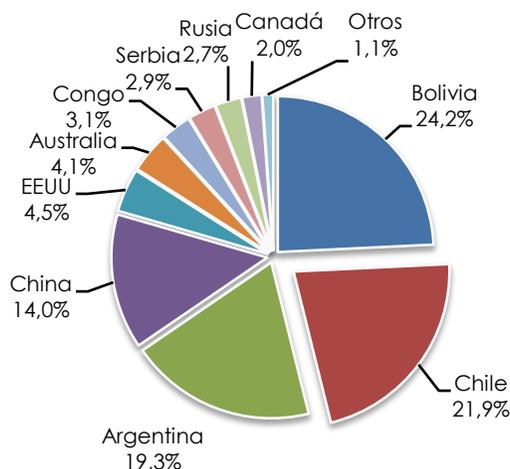
Fuente	Recursos (Mt Li met.)	Reservas (Mt Li met.)
Garrett (2004)*		14,9
Evans (2008)	28,3	
Yaksic& Tilton (2009)*	59,8	29,4
Gruber et al. (2011)	38,8	
GEM (2012)	28,9	
Evans (2012)	39,9	
USGS (2013)	32,3	13,0
Cochilco (Tabla 6)	36,7	
Roskill (2013)	39,9	20,8
Nota: *sin Mar Muerto		

A nivel de países, Bolivia alberga la mayor parte de los recursos con un 24% en el Salar de Uyuni, seguido por Chile con un 22%, considerando los salares de Atacama y Maricunga (Tabla 2; Fig. 2). Otros países importantes son Argentina (19%) y China (14%).

Considerando los tipos de depósitos, un 82% de los recursos se encuentra en las salmueras de los salares de Bolivia, Argentina, Chile, China y EEUU, 15% en minerales de rocas tanto pegmatíticas como sedimentarias (hectorita) y 3% en otras fuentes como las salmueras geotermales o en campos petrolíferos.

Tabla 2. Estimación de recursos de acuerdo a las fuentes señaladas.

País	Mt Li met.	Fuentes
Bolivia	8,90	COMIBOL (1)
Chile	8,04	Roskill (2013), SQM, CORFO (1)
Argentina	7,09	Compañías mineras (2)
China	5,15	Roskill (2013) (1)
EEUU	1,67	Compañías mineras (2)(3)
Australia	1,52	Compañías mineras (2)
Congo	1,15	Roskill (2013) (1)
Serbia	1,05	Roskill (2013) (4)
Rusia	1,00	Evans (2012), USGS (2013) (1)
Canadá	0,74	Compañías mineras, Roskill (2013) (2)
Brasil	0,10	Roskill (2013) (1)
Zimbawe	0,06	USGS (2012) (1)
Austria	0,05	Global Strategic Metals (2)
Portugal	0,01	Roskill (2013) (1)
Otros	0,20	estimación propia en base a Roskill (2013) (1)
TOTAL	36,72	
<p>(1) Valor referencial; se desconoce metodología y parámetros utilizados. (2) Se consideraron recursos medidos e indicados publicados por las empresas mineras con proyectos de litio. (3) Según USGS (2013) los recursos de EEUU ascienden a 5,5 Mt. Sin embargo, se desconocen los yacimientos incluidos y los parámetros utilizados de este cálculo. (4) Recurso inferido publicado en Roskill (2013).</p>		



Distribución de recursos por tipo de yacimiento:

- 82% salares
- 15% minerales
- 3% otras fuentes

Fuente: COCHILCO

Fig. 2: Distribución de los recursos de litio en el mundo por país.

Los salares altiplánicos de Bolivia, Chile y Argentina albergan más de la mitad de los recursos mundiales de litio.

2.1.2 Potencial de salares

Existen diversos factores que determinan la eficiencia y viabilidad de la recuperación de litio a partir de salmueras, tales como la concentración de sales contenidas, la ubicación geográfica y el clima, entre otros (Tabla 3).

Tabla 3. Factores claves que determinan la viabilidad de extracción de litio a partir de salmueras

Variable	Efecto
Concentración de litio	Decide sobre la cantidad de sales recuperables de litio.
Superficie del salar	La extensión de un salar determina la cantidad de salmueras disponibles.
Concentración de potasio	El potasio es un co-producto de la extracción de litio y aumenta el margen de ganancias, bajando los costos operacionales.
Relación entre magnesio y litio	Una mayor concentración de magnesio aumenta el consumo de cal para precipitar Mg y/o al requerirse una mayor superficie de evaporación solar para concentrar las sales de magnesio y separarlas por cristalización, encareciendo la recuperación de litio.
Clima	Se requiere un clima árido para el uso de la evaporación solar como método extractivo; es decir, la tasa de precipitación debe ser muy inferior y la tasa de evaporación mayor.

Fuente: COCHILCO

La Tabla 4 muestra una composición de las características de los salares más importantes en el mundo. Considerando todos ellos, además de los métodos extractivos disponibles, el Salar de Atacama es actualmente el más importante a nivel mundial. Es favorecido por el clima, dada su posición geográfica en un ambiente muy árido con una tasa muy elevada de evaporación, además de una alta concentración de litio. Asimismo, las altas concentraciones de potasio hacen posible la extracción y coproducción de este mineral, optimizando el costo operacional.

Adicionalmente, existen otros yacimientos en Chile con un alto potencial de ser explotados, entre los cuales figuran también salares en territorio chileno (Tabla 4): los salares de La Isla, Maricunga y Pedernales. El Salar de Maricunga incluso ha sido objeto de estudios y campañas de exploración de varias compañías (Simbalik y Li3 Energy), y existen proyectos de inversión que consideran su explotación de litio (Anexo 1).

Tabla 4. Comparación de las características relevantes de salares en el mundo (ranking descendente según concentración de litio)

	Salar	País	Li (ppm)	K (ppm)	Mg/Li	Evaporación (mm/a)	Superficie (km ²)	Altura (msnm)
1	Atacama	Chile	1.500	18.500	6,4	3.700	3.000	2.300
2	Pastos Grandes	Bolivia	1.033	7.766	2,2	1.500	100	4.200
3	La Isla	Chile	860	3.170	5,1	1.000	152	3.950
4	Maricunga	Chile	800	7.480	6,6	1.200	145	3.760
5	Salinas Grandes	Argentina	795	9.547	2,7	2.600	212	3.450
6	Olaroz	Argentina	690	5.730	2,4	2.600	120	3.900
7	Hombre Muerto	Argentina	690	6.100	1,4	2.775	600	4.300
8	Zhabuye	China	680	s/a	0,001	2.300	243	4.420
9	Sal de Vida	Argentina	660	7.370	2,2	s/a	s/a	4.025
10	Diablillos	Argentina	556	6.206	3,7	s/a	40	3.760
11	Pedernales	Chile	400	4.200	8,7	1.200	335	3.370
12	Diangxiongcuo	China	400	s/a	0,2	2.300	56	4.475
13	Caucharí	Argentina	380	3.700	2,8	2.600	350	3.950
14	Uyuni	Bolivia	350	7.200	19	1.500	12.000	3.650
15	Rincón	Argentina	330	6.200	8,5	2.600	260	3.700
16	Coipasa	Bolivia	319	10.600	45,7	1.500	2.218	3.650
17	Xitai	China	310	s/a	65	3.560	s/a	2.790
18	Dongtai	China	300	s/a	40-60	3.560	s/a	2.790
19	SilverPeak	EEUU	230	5.300	1,5	900	80	1.300

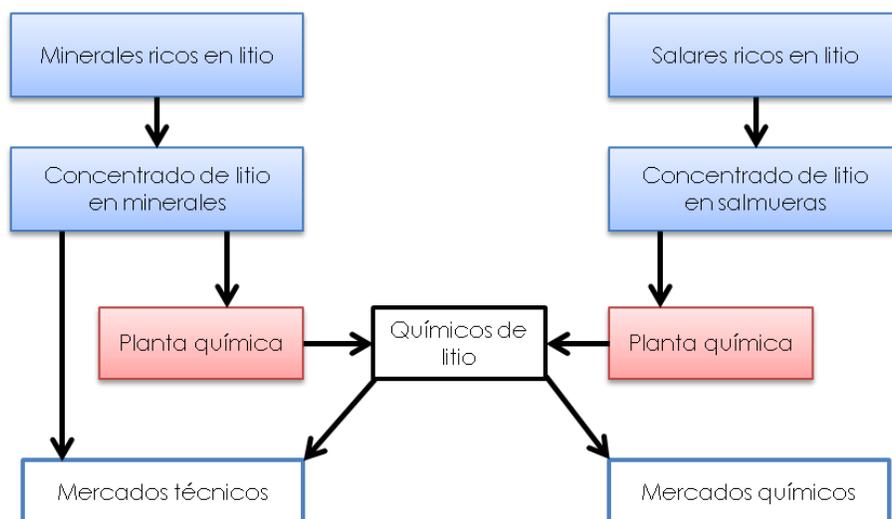
Nota:
Sombreado celeste destaca los salares en Chile.
En negrita se destacan los salares que actualmente se encuentran en operación.

Fuente: COCHILCO en base a Garrett (2004), Gruber et al. (2011), Mohr et al. (2012), Riesacher et al. (1999), Roskill (2013), Yaksic&Tilton (2009) e información de empresas mineras.

2.2 Tecnologías de producción de litio

El litio se recupera en forma de carbonato, cloruro o hidróxido a partir de las siguientes fuentes: 1) Minerales de litio en rocas pegmatíticas, y 2) Sales disueltas en salmueras de salares. En el caso de los minerales se explota la roca, y mediante distintos procesos como el chancado, molienda y flotación diferencial se obtiene un concentrado del mineral que contiene el litio, como el espodumeno o la petalita. Éste, a su vez, se utiliza directamente en el mercado técnico, por ejemplo, en procesos de la industria de vidrio y fritas³, y como material base en el mercado químico para la elaboración de compuestos de litio (Fig. 3).

³ Compuesto cerámico vítreo obtenido a partir de la fusión y el enfriamiento rápido de una combinación de sustancias inorgánicas; se utiliza en la industria cerámica para fabricar esmaltes vidriados.



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

Fig. 3: Fuentes y cadena de producción del litio

Las fuentes principales de litio son 1.) Minerales en pegmatitas, y 2.) Sales disueltas en salmueras de salares. Ambos son la materia prima para la producción de químicos de litio utilizados tanto en los mercados técnicos como químicos.

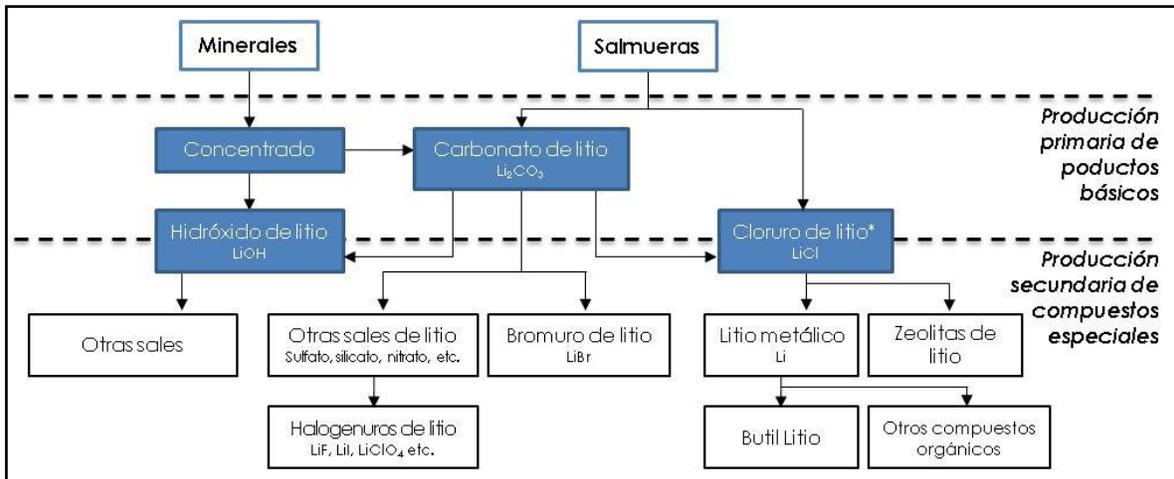
Los químicos de litio que se producen a partir de los concentrados, son el carbonato y el hidróxido de litio. Ellos son la materia prima para la elaboración de una cadena de compuestos y productos especiales que se detallan en Fig. 4.

Por su parte, en los salares se extraen las salmueras que contienen diversas sales disueltas que se separan mediante la evaporación solar. La solución restante es tratada en una planta química, donde se producen carbonato o cloruro de litio. A partir de estas sales se elaboran el litio metálico e hidróxido de litio, entre otros, que es la materia prima de una serie de químicos de litio como los halogenuros o el butil litio, entre otros (ver Cap. 3). En este contexto, es preciso señalar que el cloruro y el hidróxido de litio también se obtienen como producto secundario a partir del carbonato de litio.

De la cadena de producción minera se obtienen los siguientes productos básicos de litio:

- Concentrado de minerales de litio
- Carbonato de litio,
- Cloruro de litio, e
- Hidróxido de litio.

Todos ellos tienen aplicaciones directas o son la base para la elaboración de una serie de compuestos derivados para aplicaciones específicas (ver Cap. 3.1).



* Nota: El cloruro de litio es un producto primario cuando se obtiene directamente de la salmuera y un producto secundario en caso de elaborarlo a partir del carbonato o hidróxido de litio.

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

Fig. 4: Cadena de producción primaria y secundaria de litio

Los productos básicos de litio son: el concentrado de minerales, carbonato de litio, hidróxido de litio y cloruro de litio.

2.2.1 Tecnologías de extracción de litio

En la actualidad, el litio se extrae de las salmueras de salares y de rocas pegmatíticas. Para ello se aplican solo dos procesos de extracción comercialmente:

- Evaporación solar y concentración de salmueras extraídas de salares y la extracción posterior de carbonato o cloruro de litio.
- Explotación de minerales pegmatíticos de litio (p.ej. espodumeno, lepidolita y petalita) y su conversión a carbonato o hidróxido de litio.

Sin embargo, ha habido iniciativas para desarrollar nuevas tecnologías con el objetivo de optimizar tiempos y costos de producción. Las diversas alternativas, tanto tradicionales como nuevas, se discuten a continuación.

2.2.1.1 Salmueras

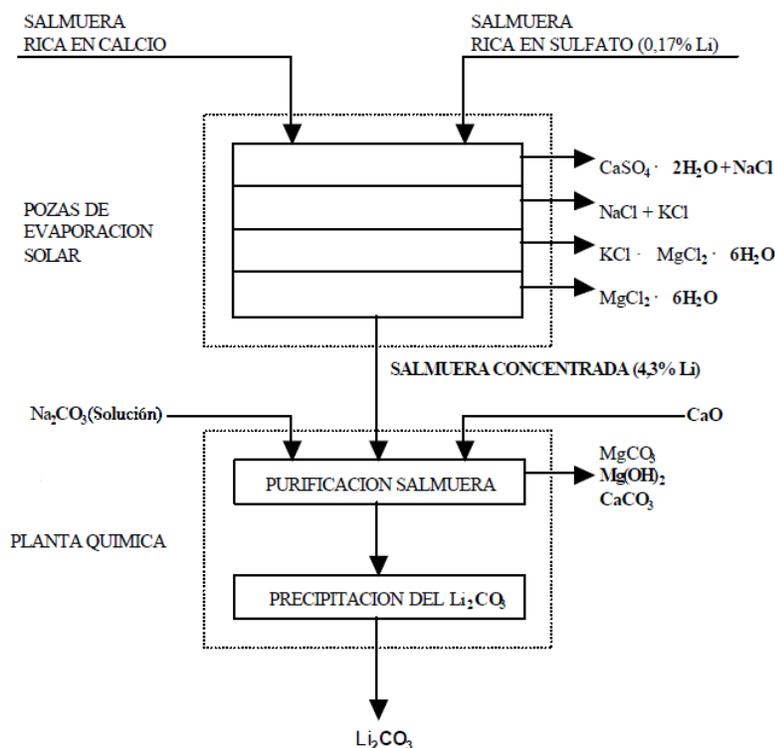
Uno de los métodos convencionales de extracción de litio es la evaporación de salmueras a partir de salares. Sin embargo, el tiempo de elaboración se extiende entre 12 y 24 meses. Por ello, ha habido varias iniciativas para encontrar tecnologías que puedan acortar el proceso productivo y aumentar el aprovechamiento de las salmueras.

A continuación se describe tanto la evaporación solar como los recientes métodos que aún no cuentan con experiencia comercial.

a) Evaporación de pozos

Las salmueras del salar se extraen mediante bombas de pozo profundo y luego se transportan a pozas de evaporación, en donde se concentra el litio en varias etapas hasta obtener una salmuera concentrada con más de 4% de litio. Este proceso demora entre 12 y 24 meses (Fig. 5).

La solución concentrada es tratada en una planta química para purificarla y posteriormente precipitar el litio en la forma de carbonato. También existe la posibilidad de obtener cloruro de litio directamente de la salmuera tal como se realiza en el Salar del Hombre Muerto, en Argentina. Actualmente, este método es el de menor costo de producción.



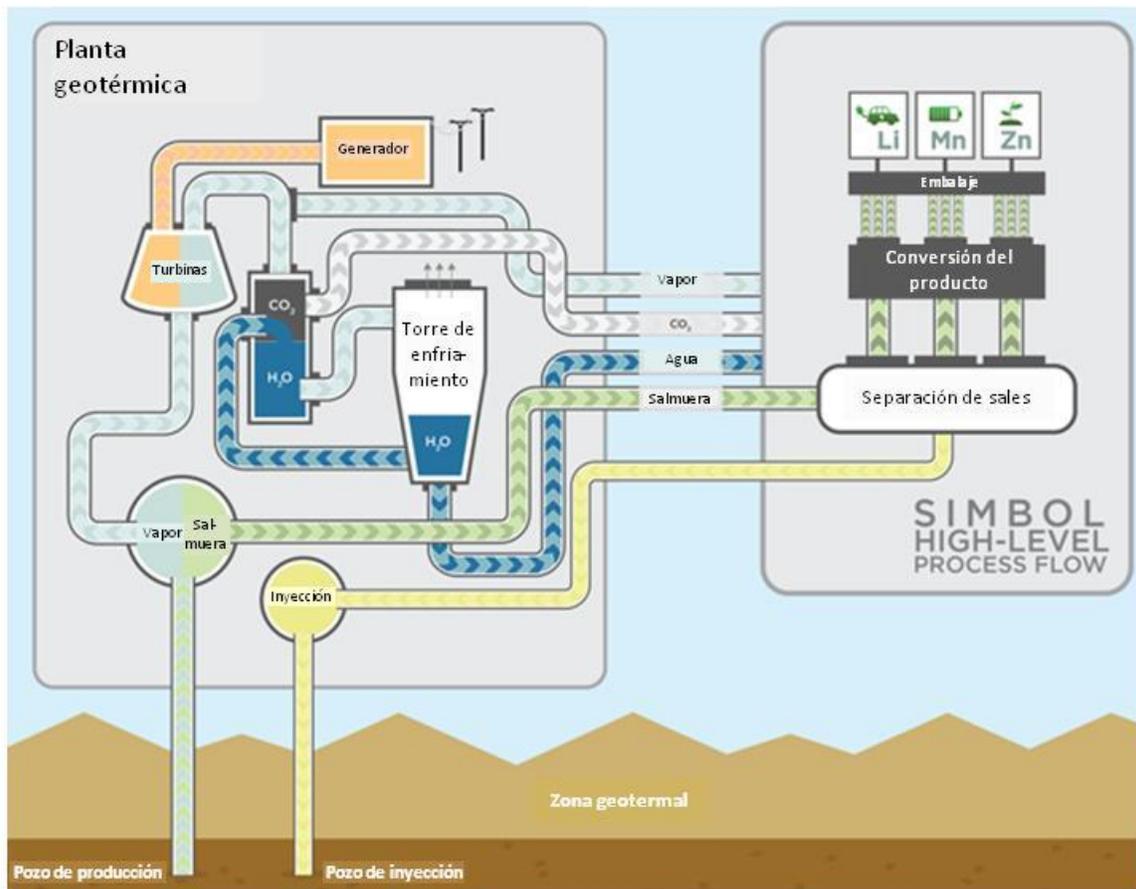
Fuente: Cisternas (1999) en base a Lagos (1986)

Fig. 5: Proceso de producción de carbonato de litio a partir de la salmuera del Salar de Atacama, Sociedad Chilena del Litio (SCL).

b) Osmosis inversa

Simbol Materials desarrolló un proceso para aprovechar una planta geotérmica de 50 MW cerca de Salton Sea, en el Valle Imperial de California, que bombea salmuera caliente de las profundidades para generar vapor que, a su vez, mueve una turbina de generación eléctrica (Fig. 6). Actualmente, la planta reinyecta la salmuera nuevamente en el suelo después de que ésta produzca el vapor que alimenta las turbinas. Estas soluciones, sin embargo, contienen un 30% de sólidos disueltos, entre ellos de litio, manganeso y zinc.

Con el objetivo de aprovechar los minerales contenidos en la salmuera, se encuentra en construcción un proyecto que pretende desviar la salmuera de la planta de energía antes de su reinyección, hacia equipos de procesamiento. Allí, la salmuera aún caliente fluirá a través de un medio que filtra las sales en cuestión de horas. Luego se purifica creando un carbonato de litio de alta pureza (Fig. 6).



Fuente: Simbol Materials

Fig. 6: Flujo de proceso de la planta de osmosis inversa de litio.

Simbol Materials aprovechará las salmueras extraídas desde pozos en un campo geotermal para extraer litio, entre otros minerales.

c) Extracción química

La surcoreana POSCO ha desarrollado una tecnología para extraer en forma química el litio de una salmuera. Ésta reduce el tiempo de extracción a horas y aumenta la tasa de recuperación a 80%-99.99%. La misma tecnología puede utilizarse, además, para extraer magnesio, calcio, potasio y boro, entre otros, de salmueras de diversas fuentes.

Actualmente la compañía está operando una planta piloto en el Salar de Maricunga en conjunto con Li3 Energy con una capacidad de 20 tpa de carbonato de litio.

d) Extracción por solvente (SX)

Bateman Lithium Projects, una división de Bateman Litwin Group, ha desarrollado y patentado el proceso LiSx™ en el cual se obtiene el litio a través de la extracción por solventes desde salmueras o soluciones posteriores a la lixiviación de minerales (Fig. 7).

Las soluciones son mezcladas inicialmente con un solvente orgánico en el cual se disuelven los iones de litio. El solvente orgánico luego es separado de la solución acuosa y con la adición de un fuerte ácido se elimina el litio produciendo cloruro de litio. El solvente limpio puede ser reutilizado en el proceso.

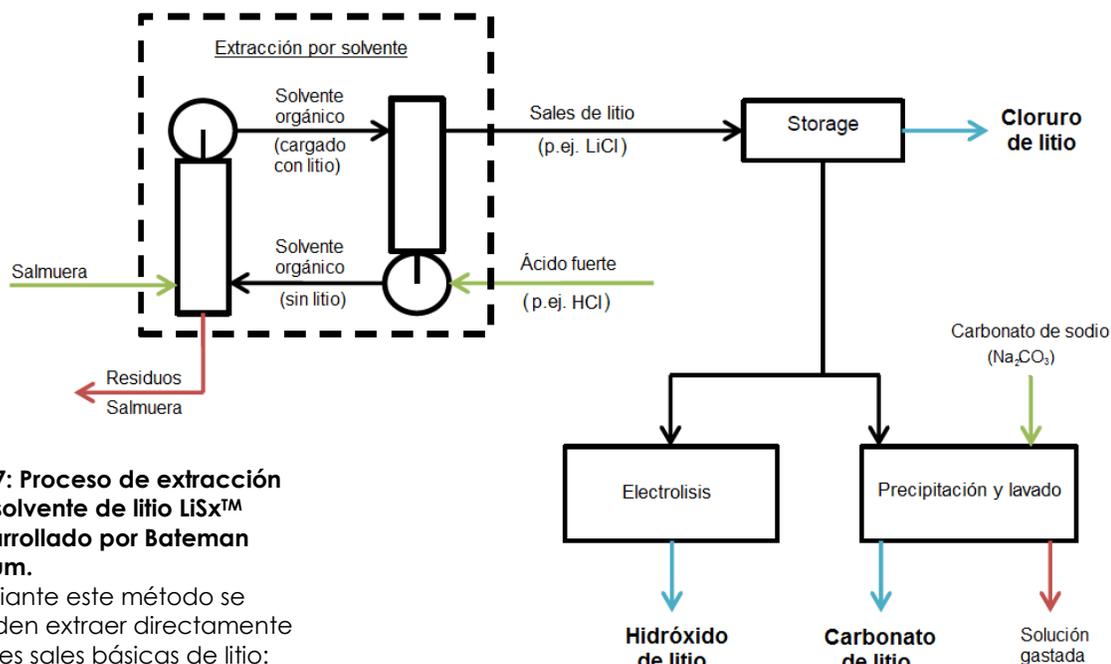


Fig. 7: Proceso de extracción por solvente de litio LiSx™ desarrollado por Bateman Lithium.

Mediante este método se pueden extraer directamente las tres sales básicas de litio: cloruro, carbonato e hidróxido.

Fuente: Roskill (2013) en base a información entregada por Bateman Lithium

2.2.1.2 Pegmatitas

La mayoría de los yacimientos de litio en pegmatitas se encuentran cerca de la superficie, lo que hace posible su explotación mediante métodos mineros de rajo abierto incluyendo perforación y tronadura. Para producir concentrados de espodumeno, petalita o lepidolita, el mineral primero es sometido al proceso de conminución con chancadores, seguido por la separación en medio denso, molienda y clasificación. Posteriormente los minerales son separados magnéticamente o vía flotación. Los últimos pasos son el filtrado, lavado y secado del concentrado obtenido.

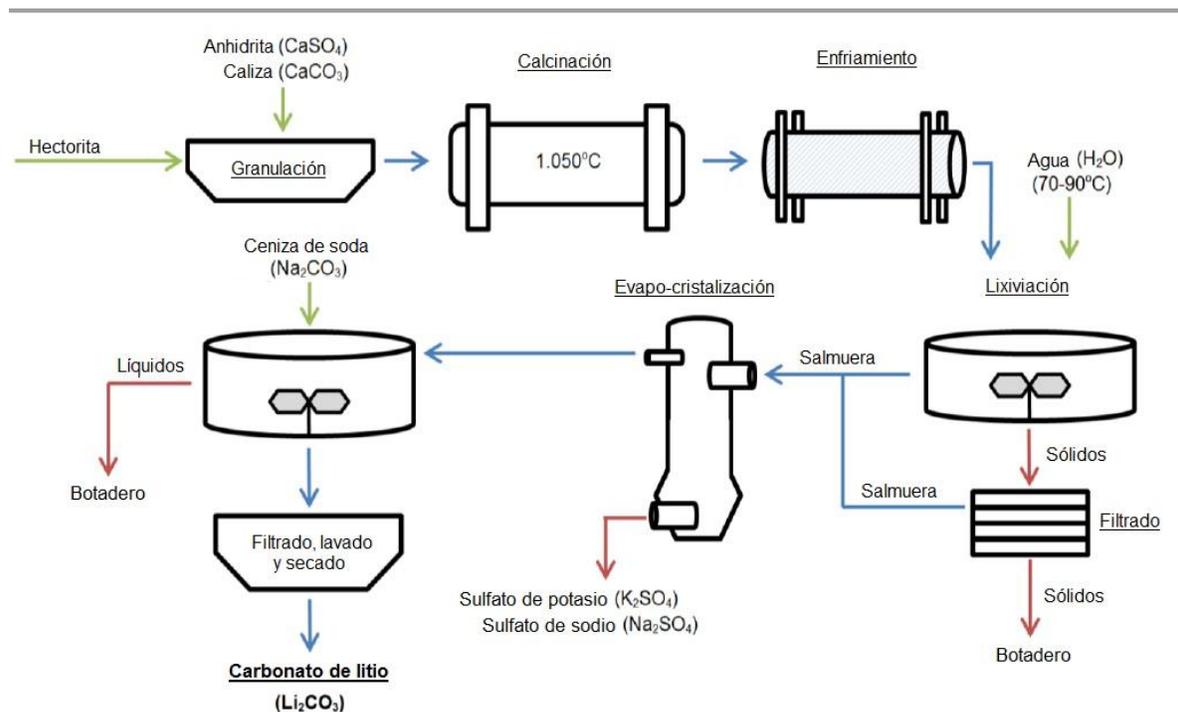
El proceso cuenta con instalaciones de planta y equipamiento, intensivo en el uso de energía eléctrica. Por ende, su costo operativo es considerablemente mayor al de la evaporación solar (para comparación ver Tabla 6; Cap. 2.2.2.).

2.2.1.3 Depósitos de arcillas

Los depósitos de arcillas sedimentarias, como la hectorita, también son una fuente interesante de litio. Antiguamente no se creía que su explotación fuera una alternativa a los métodos existentes. Sin embargo, la compañía Western Lithium desarrolló un método pirometalúrgico que se basa en el tostado (*roasting*).

En este proceso la arcilla es mezclada y granulada con anhídrita (CaSO_4) y caliza, y luego esta mezcla es calentada a $1.050\text{ }^\circ\text{C}$ para así liberar el litio en forma de sulfatos y hacerlo soluble en agua (Fig. 8). De este modo se genera una salmuera desde la cual se extrae el carbonato de litio. Como subproductos se producirían sulfato de potasio y sodio.

Western Lithium estima el costo operacional en torno a US\$ 3.000 por tonelada de carbonato de litio, es decir, por debajo de la conversión de mineral actualmente aplicada en las plantas de China y comparable con las operaciones en los salares de Argentina y China (ver Cáp.2.2.2, Tabla 5).



Fuente: Roskill (2013) en base a información de Western Lithium

Fig. 8: Producción de carbonato de litio a partir de arcillas sedimentarias (hectoritas).

Esta tecnología hace viable la recuperación de carbonato de litio a partir de las arcillas de litio.

2.2.2 Comparación competitiva de las tecnologías extractivas

Actualmente, el método de extracción más competitivo es la evaporación solar ya que no requiere mayores instalaciones de planta y utiliza la energía del sol. Los únicos costos de producción a partir de las salmueras son por el uso de reactivos químicos (Na_2CO_3 y

otros), energía y combustibles durante el proceso de purificación y precipitación en la planta química. Por ello este tipo de operaciones actualmente tiene el menor costo productivo (Tabla 5).

Tabla 5. Costos de producción según país y tipo de materia prima

Tipo de materia prima	Método	País de la operación	Yacimiento / Compañía	Costo de producción (US\$/t LiCO ₃)
Salmuera (salares)	Evaporación solar	Argentina	Hombre Muerto / FMC	3.000
		Chile	Atacama / SQM y SCL (Rockwood)	2.000-2.300
		China	Zabuye y Taijinaier	3.000-3.300
Conversión de minerales	Método convencional ⁽¹⁾	China	Diversos	3.800-4.500
		China	Jiangsu / Galaxy	5.000
		Brasil	CBL	7.800
	Tostado de arcillas	--	Western Lithium	3.000

Nota: (1) Método tradicional minero utilizado en yacimientos pegmatíticos vía conminución, y separación física

Fuente: COCHILCO en base a Roskill (2013)

Sin embargo, existen otras tecnologías que tienen una ventaja frente a este método, las que se detallan en Tabla 6.

El punto más destacable es la menor duración de producción, como es el caso de la osmosis inversa, extracción química y extracción por solvente. Estas tres tecnologías reducen el tiempo de extracción de litio de meses a horas, y además tienen el beneficio de no depender del clima. Aun así, requerirán de instalaciones mayores de planta que la evaporación solar y tendrán un mayor consumo de energía eléctrica.

Otra alternativa importante en el ámbito de la conversión de minerales es el tostado de arcillas de rocas sedimentarias, que tiene un costo inferior que los métodos actualmente utilizados y es comparable con las operaciones de evaporación solar en Argentina y China (ver Conversión de mineral en Tabla 5). De esta manera, la tecnología se está convirtiendo en una alternativa viable para la producción de litio.

Aunque la mayoría de las nuevas tecnologías no ha sido probada a mayor escala, tienen un gran potencial para convertirse en operaciones reales y competitivas, tanto en capacidad productiva como en costo de producción (Tabla 6). Por lo tanto, el privilegio que hoy en día poseen las instalaciones en el Salar de Atacama se podrá ver afectado.

Tabla 6. Comparación competitiva de tecnologías extractivas

	Método	Ventajas	Desventajas
Salmueras	Evaporación solar	<ul style="list-style-type: none"> No requiere de grandes instalaciones de planta, ni de equipamiento mayor. No requiere proceso de conminución. Bajo costo operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> El tiempo requerido para cosechar el litio es entre 12 y 24 meses. Evaporación depende del clima (evaporación vs. precipitaciones). Elevada concentración de Mg complica extracción y requiere mayor consumo de reactivos. Residuos salinos con poco valor (p.ej. sales impuras de Na y Mg).
	Osmosis inversa	<ul style="list-style-type: none"> Se extrae el litio dentro de horas reduciendo considerablemente el tiempo de operación frente a la evaporación solar en los salares. No requiere evaporación solar y por ende no depende del clima. Se aprovecha sinergia con planta geotérmica. 	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad de producción de litio depende de la extracción de salmueras en la planta de energía geotérmica. Producción a escala comercial recién a partir de 2014.
	Extracción química	<ul style="list-style-type: none"> Se extrae el litio dentro de horas reduciendo considerablemente el tiempo de operación frente a la evaporación solar en los salares. No requiere evaporación solar y por ende no depende del clima. Alta tasa de recuperación. 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de solventes y reactivos químicos. Requiere instalaciones de planta y equipamiento. Aún no probado a escala mayor/comercial.
	Extracción por solvente	<ul style="list-style-type: none"> Se extrae el litio dentro de horas reduciendo considerablemente el tiempo de operación frente a la evaporación solar en los salares. No requiere evaporación solar y por ende no depende del clima. 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de solventes y reactivos químicos. Consumo de energía eléctrica. Requiere instalaciones de planta. Aún no probado a escala mayor/comercial.
Conversión de mineral	Conversión de minerales pegmatíticos	<ul style="list-style-type: none"> No depende de factores climáticos. Complementa la oferta restringida desde salares. 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere instalaciones de planta con mayores equipos. Alto consumo de energía en combustible durante la reducción de tamaño del mineral. Consumo de reactivos en las etapas de separación. Alto costo operacional.
	Tostado de arcillas	<ul style="list-style-type: none"> No depende de factores climáticos. No requiere conminución, menor costo operacional que conversión convencional. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo operacional mayor a evaporación solar. Aún no probado a escala mayor/comercial.
<p>Nota: Filas con sombreado celeste = métodos actualmente aplicadas.</p>			

Fuente: COCHILCO.

2.3 Producción minera

La producción minera a partir de salmueras y minerales se concentra en tres regiones:

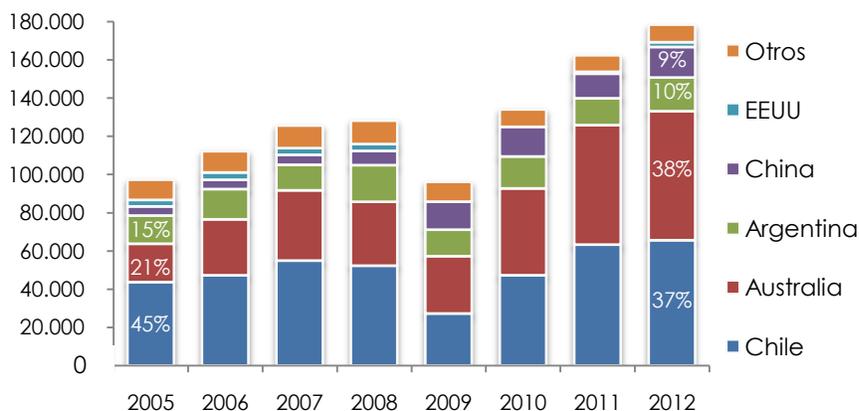
1. En Sudamérica (salmueras de los salares de Atacama, Chile, y Hombre Muerto, Argentina);
2. Australia (en pegmatitas de Greenbushes y Mt. Cattlin), y
3. China (tanto de minerales como salares).

En 2012 la producción primaria de litio en el mundo llegó a casi 180.000 t de LCE (Tabla 7). La mayor parte (94%) de la producción se concentra en cuatro países: Australia, Chile, Argentina y China; según el orden de importancia (Fig. 9).

Tabla 7. Estimaciones de la producción mundial por país (t de LCE)

País	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Fuente
Argentina	14.760	15.835	13.380	19.195	13.865	16.710	14.045	17.610	USGS, Secr. de Minería Argentina
Australia	20.070	29.280	36.780	33.430	30.000	45.440	62.560	67.520	Galaxy Resources; TalisonTianqi; USGS
Chile	43.680	47.260	54.945	52.280	27.250	47.280	63.300	65.620	Estimación en base a SERNAGEOMIN⁽¹⁾
China	4.780	4.880	5.200	7.450	14.660	15.520	12.850	15.990	Estimación en base a datos de Roskill (2013)
EEUU	3.400	3.800	3.500	3.600	-	-	1.000	2.500	Roskill (2013)
Otros	10.550	11.120	11.815	12.220	10.380	9.090	8.650	9.180	Estimación en base a USGS, IGME, DNPM, Roskill (2013)
Total	97.240	112.175	125.620	128.175	96.155	134.040	162.405	178.420	

Nota:
⁽¹⁾ Incluye la producción de carbonato de litio y cloruro de litio, tal como fue reportada por las empresas a SERNAGEOMIN.⁴



Fuente: COCHILCO en base a USGS, Roskill, Sernageomin, Secretaria de Minería Argentina, compañías productoras, IGM y DNMP.

Fig. 9: Producción de litio en toneladas de LCE.

Por muchos años, Chile lideró el ranking de los países productores de litio, sin embargo, en 2012 tuvo que ceder esta posición a Australia que ahora es el mayor proveedor de este recurso mineral. Actualmente, ambos países son responsables del 75% de la producción mundial de litio contenido.

Durante la última década, con excepción del año 2009, Chile fue el primer país en proveer el recurso. Sin embargo, en 2012 tuvo que ceder esta posición a Australia que ahora ocupa el primer lugar en el ranking (Fig. 10). Lo anterior se debe a la expansión de la mina Greenbushes, en el suroeste de Australia, que en 2012 más que duplicó su capacidad instalada, de 50.000 tpa a 110.000 tpa de LCE contenido en concentrados de espodumeno.

⁴ Hay una inconsistencia entre datos públicos de diversos organismos estatales sobre producción y ventas de litio, dificultando el seguimiento, conocimiento y análisis de las condiciones actuales de Chile

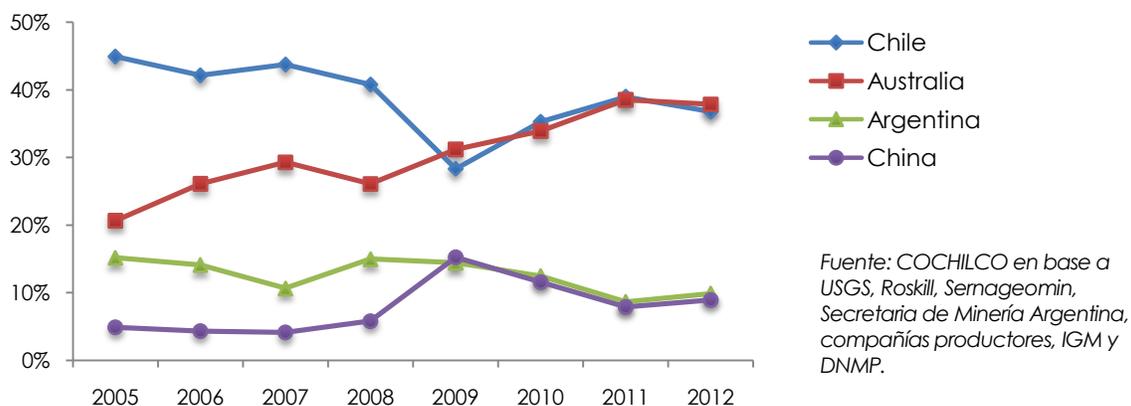


Fig. 10: Participación porcentual de los cuatro mayores productores de litio.

Desde 2005 Australia ha aumentado su participación desde 20 % a 38% en 2012, mientras Chile ha perdido su posición privilegiada que mantuvo durante la primera década de este siglo.

2.4 Producción de litio según fuente

La producción mundial de mina se divide en dos grupos, según el origen de la materia prima de la cual se genera el producto de litio. Por una parte, están los concentrados de minerales pegmatíticos, extraídos de rocas con métodos mineros convencionales en operaciones a rajo abierto, que en 2012 sumaron un 50% del total mundial del litio equivalente producido (Tabla 8). La parte restante se obtiene desde las salmueras de salares a partir de la evaporación solar.

Tabla 8. Distribución global de la producción de litio según fuente y país.

Tipo de yacimientos	País	Capacidad (tpa LCE)	Producción (tpa LCE)		Participación prod. 2012
			2011	2012	
Pegmatita		186.025	79.106	88.500	49,6%
Espodumeno	Varios	174.100	70.990	80.230	45,0%
	Australia	127.000	62.560	67.520	37,8%
	Brasil	1.200	830	1.210	0,7%
	China	45.900	7.600	11.500	6,4%
Lepidolita	Varios	5.925	2.716	2.870	1,6%
	China	3.225	300	300	0,2%
	España	700	96	70	0,0%
	Portugal	2.000	2.320	2.500	1,4%
Petalita	Zimbabwe	6.000	5.400	5.400	3,0%
Salmuera		120.450	83.295	89.920	50,4%
Salar	Argentina	20.500	14.045	17.610	9,9%
	Chile	76.000	63.300	65.620	36,8%
	China	18.950	4.950	4.190	2,3%
	EEUU	5.000	1.000	2.500	1,4%
TOTAL		306.475	162.400	178.420	100,0%

Fuente: COCHILCO en base a USGS, Secretaría de Minería Argentina, compañías productoras, Sernageomin, Roskill, IGM y DNMP.

2.4.1 Producción a partir de salmueras

La mitad de la producción mundial de litio se obtiene a partir de las salmueras extraídas de salares en Chile, Argentina, China y EEUU, sumando 89.920 t LCE en 2012 (Tabla 8). Actualmente, Chile lidera en este segmento del mercado contribuyendo dos tercios de la producción global de compuestos primarios de litio, seguido por Argentina (18%) y China (12%). Las dos compañías activas en el Salar de Atacama, SQM y SCL (Rockwood), mantienen una participación predominante de 42% y 25%, respectivamente (Fig. 11).

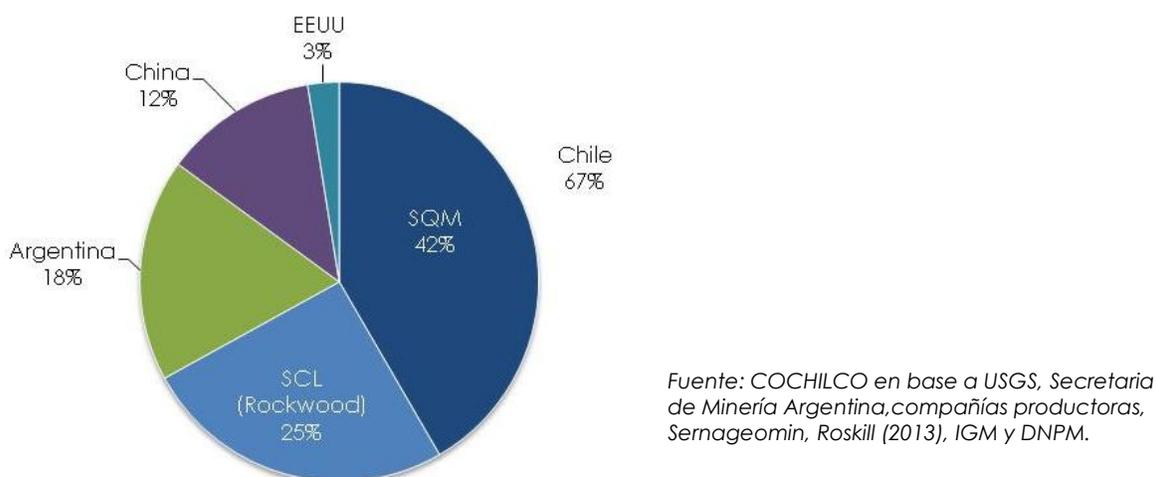


Fig. 11: Principales productores de compuestos básicos de litio a partir de salmueras.

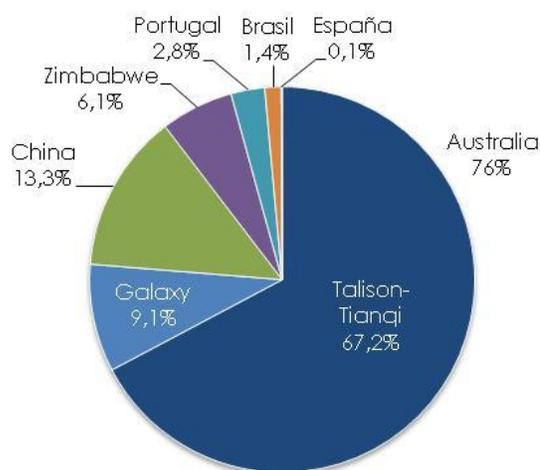
Chile lidera este segmento del mercado a través de las operaciones en el Salar de Atacama, sumando el 67% de la producción en 2012.

2.4.2 Producción a partir de minerales de litio

La parte restante de la producción primaria de litio se obtiene a partir de concentrados de minerales pegmatíticos, la que en 2012 ascendió a 88.500 t de LCE (Tabla 8). El mineral más importante es el espodumeno que entrega el 45% de producción total de litio en el mundo, y una parte inferior se extrae de petalita y otra de lepidolita.

El mayor productor de concentrados de litio es Australia, donde se obtuvieron 67.520 t LCE en 2012 (76% del total de concentrados; Fig. 12). Casi el 90% de la producción australiana se extrae desde la mina Greenbushes de Talison Tianqi, y la parte restante en Mt. Cattlin de Galaxy Resources. Desde 2007, el mineral exportado de Australia va principalmente a China (87,3%) y UE (7,6%). La parte restante se envía a EEUU (2,7%) y Japón (1,45%).

Otro país importante en el mercado de los minerales es China con una producción estimada de 11.500 t LCE contenidas en concentrado de espodumeno y otras 300 t LCE en concentrado de lepidolita, aportando el 6,8% de la producción global de litio y el 13,3% de la producción de concentrados de minerales de litio. Producciones inferiores se registran en Zimbabwe (6,1% de LCE en concentrados, Fig. 12), Portugal (2,8%) y Brasil (1,4%).



Fuente: COCHILCO en base a USGS, Secretaria de Minería Argentina, compañías productoras, Sernageomin, Roskill (2013), IGM y DNP.

Fig. 12: Principales productores de concentrado de minerales de litio.

El mayor productor de concentrados de litio es Australia

2.5 Asociaciones estratégicas de las compañías productoras

En el mercado internacional del litio se pueden observar asociaciones estratégicas entre compañías mineras, químicas y grupos empresariales con diversas líneas de negocios en las cuales se aplican compuestos de litio. El detalle se expone en el Anexo 2.

En este contexto, resalta la estrecha relación de las compañías australianas y canadienses con socios de Asia, es decir, de China, Japón y Corea del Sur. Cabe mencionar la compra de la australiana Talison Lithium en 2013 por parte de la china Sichuan Tianqi Lithium Industry, que es enfocada en el desarrollo, producción y ventas de productos químicos de litio y opera plantas de conversión de minerales de litio y químicas en China. A través de esta transacción, el país asiático se asegura del abastecimiento de materia prima de litio, en línea con el hecho de que es el consumidor más grande del mundo y el comprador más importante del concentrado australiano.

Otro hito fue el acuerdo más reciente entre Tianqi y Rockwood en virtud del cual la segunda accede al 49% de Talison, quedando el 51% en poder de Tianqi. A su vez, la compañía china tendrá la opción de compra del 20% al 30% de la propiedad de Rockwood Lithium, la rama de litio de Rockwood con sede en Alemania.

Se espera que esta transacción se cierre durante el primer trimestre de 2014. Como consecuencia, Rockwood⁵ se asociaría con una compañía situada en el principal mercado consumidor, China, y se constituiría en el principal oferente de productos básicos de litio a nivel mundial, alejándose de SQM.

También la compañía australiana, Galaxy Resources, operadora de la mina Mount Cattlin, persigue otra estrategia para acercarse a China, y construyó su planta de conversión directamente en ese país. De esta manera está más cerca de sus principales clientes.

⁵ Cabe destacar que Rockwood Lithium es propietaria de SCL, la segunda productora de litio en Chile, y tiene vigente un contrato con CORFO que autoriza la extracción de 200.000 toneladas de litio metálico sin limitación en el tiempo.

Además, llegó a un acuerdo de compra con Talison Tianqi quienes abastecerán esta planta con concentrado proveniente de la mina Greenbushes, Australia.

Por otra parte, los operadores de proyectos importantes de litio en Argentina y Canadá, buscan asociaciones estratégicas con compañías con experiencia en toda la cadena productiva; es decir que cuenten con varias líneas de negocios, entre ellas, la producción de químicos de litio y otros productos de la cadena de valor tales como componentes para baterías, baterías de litio y vehículos eléctricos, entre otros.

Por parte de Japón, los importantes socios presentes en el mercado del litio son, por ejemplo, los grupos Toyota o Mitsubishi, ambos con líneas de negocios que cubren la cadena desde químicos y compuestos de baterías hasta vehículos eléctricos.

Otro actor importante es Corea del Sur, que participa a través de Kores (Korea Resources Company) en proyectos en Bolivia y Argentina. Si bien el litio en territorio boliviano está en manos del Estado a través de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), filial de la estatal boliviana Comibol, este país persigue una estrategia de cooperación con socios internacionales, expertos en la materia. En este contexto la GNRE firmó un convenio con un consorcio formado por Kores y la acerera coreana Posco para la investigación, instalación y puesta en marcha de una planta piloto de cátodos de litio en el departamento de Potosí.

En Argentina, Kores está presente a través de un consorcio que mantiene el 30% del proyecto Sal de Vida de Galaxy Resources.

Mientras las relaciones empresariales están entrelazadas a nivel internacional, el mercado chino es más conservador y las mineras se asocian exclusivamente con empresas nacionales.

2.6 Oferta potencial

En este momento existe una amplia cartera de inversión en varios países que en total podrían agregar más de 500.000 tpa LCE a la capacidad actual hacia fines de la presente década. Los países de mayor relevancia son Canadá, en el caso de proyectos para producir concentrados de litio, y Argentina en el caso de la recuperación de litio a partir de salmueras de los salares andinos. Ello significa una clara amenaza al liderazgo que Chile ha mantenido durante muchos años en la producción mundial de litio.

2.6.1 Producción potencial de litio a partir de minerales

Los proyectos que prevén la explotación de litio a partir de minerales tanto en rocas pegmatíticas como sedimentarias suman una capacidad de alrededor de 185.000 tpa de LCE (Tabla 9). Entre los países con recursos de litio en roca, Canadá es el más importante y alberga proyectos que agregarían al menos 84.600 tpa LCE a la oferta actual durante los próximos cinco años.

La iniciativa más avanzada es Québec Lithium de la compañía Canada Lithium, que actualmente se encuentra en etapa de puesta en marcha (ver detalle en Anexo 1). Su capacidad de diseño alcanzará 20.000 tpa LCE contenido en carbonato e hidróxido.

Tabla 9. Capacidad productiva adicional hasta 2017 por año de puesta en marcha de proyectos según tipo de yacimiento y país en tpa de LCE

Tipo de yacimiento	País	Año de puesta en marcha				Cap. adicional (suma)
		2014	2015	2016	2017	
Mineral		35.000	86.000	30.300	60.100	184.800
Espodumeno	Varios	35.000	60.000	30.300	60.100	158.800
	Australia		22.000 ⁽¹⁾		22.000 ⁽¹⁾	44.000
	Austria			3.700		3.700
	Canadá	20.000	38.000	26.600 ⁽¹⁾		84.600
	China	15.000			7.500	22.500
	Finlandia				4.000	4.000
Hectorita	EEUU		26.000			26.000
Salmuera		43.500	91.000	127.000	-	261.500
Campo de petróleo	EEUU			20.000		20.000
Geotermal	EEUU		16.000			16.000
Salar	Varios	43.500	75.000	92.000		225.500
	Argentina	23.500	60.000	10.000		93.500
	Bolivia			30.000 ⁽¹⁾		30.000
	Chile	20.000		62.000 ⁽¹⁾		82.000
	China		10.000	5.000		15.000
	EEUU		5.000			5.000
Total general		78.500	177.000	157.300	33.500	446.300

Nota:

(1) Proyectos inseguros o poco avanzados (ver detalle en Anexo 1)

Fuente: COCHILCO

Otro proyecto en desarrollo es Wabouchi, que comenzará en 2015 a producir carbonato e hidróxido de litio a partir de concentrados de espodumeno. La capacidad instalada será de 38.000 tpa LCE.

Una novedad es el proyecto Kings Valley en EEUU de la empresa Western Lithium que considera la recuperación de litio a partir de arcillas sedimentarias, o hectoritas, para lo cual desarrolló una nueva tecnología extractiva (tostado de arcillas; Cap. 2.2.1.3). Este proyecto ya cuenta con estudio de factibilidad que prevé una capacidad equivalente a 26.000 tpa de LCE y su puesta en marcha para 2015.

En caso de resultar exitosa su ejecución, y comprobar la viabilidad de la explotación de hectoritas, ello podría cambiar el futuro escenario del mercado de litio, dado que existen cuantiosos recursos de este tipo en EEUU, entre otros países. Dependiendo del precio del litio y el costo de producción involucrado, este tipo de yacimiento se podría convertir en una fuente competitiva de litio.

2.6.2 Producción potencial de litio a partir de salmueras

En total, existen iniciativas en salares de Argentina, Bolivia, Chile y China que durante los próximos cinco años añadirían 225.500 tpa de LCE a la capacidad actual instalada. Entre estos países, Argentina es el que concentra el mayor número de proyectos importantes sumando 93.500 tpa LCE a la capacidad total instalada hacia 2017 (Tabla 9). Incluso tiene el potencial de superar hacia 2020 la capacidad de Australia (Tabla 10).

Tabla 10. Capacidad total proyectada según país en tpa de LCE

País	2013 ⁽¹⁾	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Argentina	20.500	32.250	68.125	94.000	111.500	114.000	124.000	129.000
Australia	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000	127.000
Canadá⁽²⁾	--	10.000	34.000	48.500	58.000	58.000	58.000	58.000
Chile⁽³⁾	76.000	86.000	91.000	96.000	96.000	96.000	96.000	96.000
China	68.075	75.575	84.325	93.075	100.575	103.700	105.575	105.575
EEUU	5.000	5.000	28.500	50.250	67.000	72.000	72.000	72.000
Zimbabwe	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Otros⁽⁴⁾	4.380	4.380	4.380	6.230	9.155	11.080	12.080	12.080
Total	306.955	346.205	443.330	521.055	575.230	587.780	600.655	605.655

Nota:
 Proyección considera 50% de la capacidad de diseño durante el primer año del proyecto, 75% en el segundo año y 100% a partir del tercer año.
⁽¹⁾ Capacidad instalada actualmente
⁽²⁾ Considera los proyectos Quebec Lithium y Wabouchi
⁽³⁾ Considera solo expansión de Planta La Negra de SCL (Rockwood).
⁽⁴⁾ Considera proyectos de Wolfsberg en Austria y Länntä en Finlandia.

Fuente: COCHILCO

En Chile, en tanto, hay solo un proyecto seguro que es la expansión de la planta La Negra de SCL que agregaría una capacidad de 20.000 tpa de carbonato y cuya puesta en marcha se realizará durante 2014. Sin embargo, si se realizaran los otros proyectos en carpeta de Simbalik, Li3 Energy y SQM se podría llegar a cerca de 160.000 tpa y reconquistar el liderazgo.

Aparte de los salares, existen más proyectos innovadores y nuevas fuentes de litio en EEUU. Por un lado, está la iniciativa de extraer litio desde las salmueras del campo geotermal Salton Sea en California, la que se encuentra en etapa de construcción.

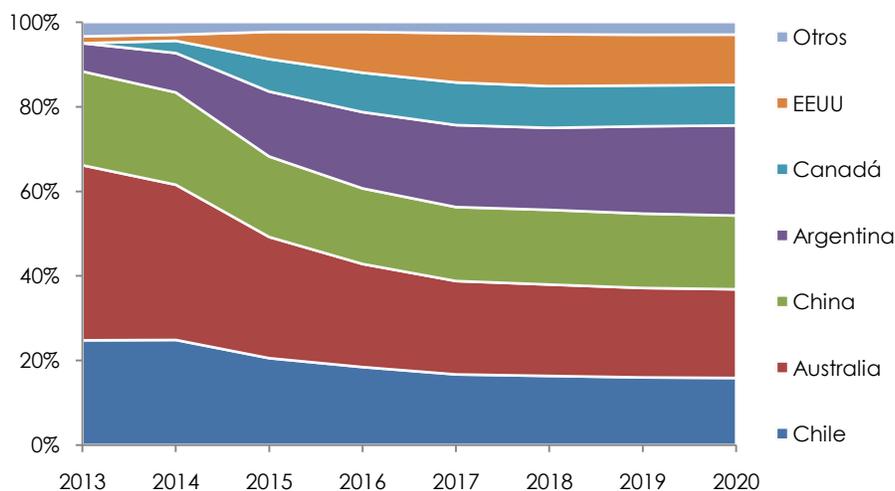
Por otro lado, Albemarle Corp. desarrolló una tecnología que permitirá a la compañía producir carbonato de litio a partir de las mismas salmueras que procesa en su planta de bromo en el campo de petróleo de Magnolia, Arkansas. Actualmente, el proyecto se encuentra en etapa de factibilidad y considera una producción de 20.000 tpa de carbonato de litio a partir de 2016.

2.6.3 Proyección de la capacidad instalada hacia 2020

En la actualidad, la capacidad instalada de producción de litio llega a cerca de 307.000 tpa LCE (Tabla 10). Para proyectar la oferta hacia el año 2020, se consideran solo los proyectos probables en etapa de al menos prefactibilidad y con el año de puesta de marcha definido. Además, se calcula con un *ramp up* de dos años, con un 50% de la capacidad de diseño logrado durante el primer año, 75% en el segundo año y 100% a partir del tercer año.

Sobre esta base, se estima que a fines de la presente década se podría duplicar la capacidad instalada en el mundo, superando la marca de 600.000 tpa LCE (Tabla 10). A nivel de países, Argentina liderará con 129.000 tpa LCE, seguido por Australia y China. Chile, por su parte, quedaría en el cuarto lugar con 96.000 tpa LCE.

Cabe destacar además los aumentos de Estados Unidos que podría llegar a más de 70.000 tpa y Canadá a casi 60.000 tpa; ambos se ubicarían cerca del 10% de participación del total mundial (Fig. 13). En tanto, Chile reduce su participación del 25% en 2013 a solo 16% en 2020, y si en Australia (actualmente líder con 41%) no se desarrollan más proyectos, caería a 21%.



Fuente: COCHILCO

Fig. 13: Participación porcentual proyectada en el total mundial de la capacidad productiva de LCE. Mientras Argentina, Canadá y Estados Unidos aumentarían significativamente su participación, Chile caería al cuarto lugar hacia fines de la década.

3. Usos y aplicaciones del litio

Litio es el elemento sólido menos denso y el metal más pequeño y liviano. Cuenta con propiedades físicas especiales en la conducción del calor y la electricidad, las cuales lo convierten en un elemento clave para varias aplicaciones químicas y tecnológicas.

En los últimos años ha ganado cada vez más en importancia dado su alto potencial electroquímico⁶ y su poder de almacenar energía eléctrica, y es una componente importante en las baterías recargables de alta densidad energética. Sus usos se pueden clasificar tanto por tipos de aplicaciones como por su potencial crecimiento.

3.1 Usos y consumo actual por tipo de aplicación

Como fue señalado en el Cap. 2, las fuentes principales de litio son minerales en pegmatitas y salmueras ricas en litio en los salares. Ambos son la materia prima para la producción de químicos de litio que sirven tanto en los mercados técnicos como químicos. Los concentrados de minerales de litio además son utilizados en los mercados técnicos, tales como la industria de vidrios y cerámicas (Fig. 14).

Por su parte, el litio y sus compuestos se utilizan como materia base en diversos procesos y aplicaciones químicas y tecnológicas (Fig. 14; Tabla 11). Entre sus principales aplicaciones químicas figuran:

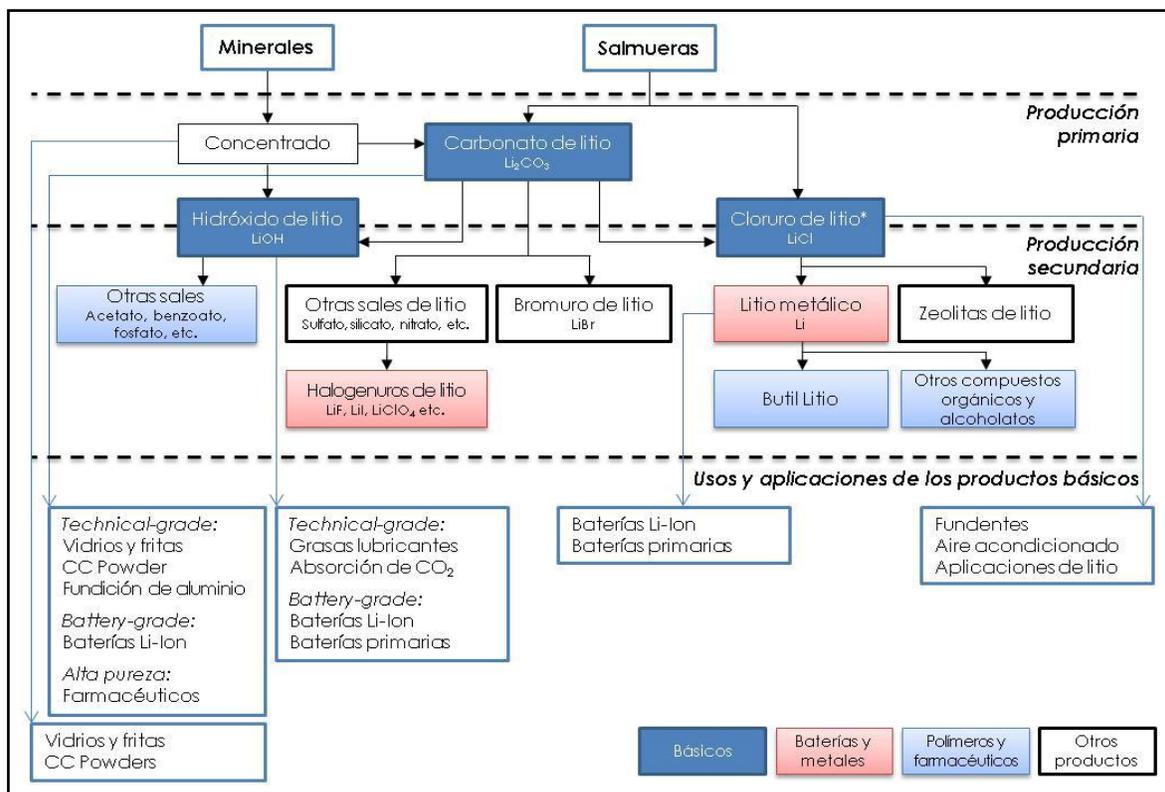
- Componentes de baterías de litio de alta densidad energética, en los cuales se aprovecha el alto potencial electroquímico del litio. Se utilizan diversos compuestos de litio tanto en los cátodos y ánodos como los electrolitos.

Los principales tipos de baterías son dos:

1. Baterías no recargables o primarias.
 2. Baterías recargables o secundarias del tipo Li-ion⁷ que se utilizan en artículos electrónicos móviles tales como *laptops*, celulares, *tablets*, etc., y vehículos eléctricos. Se espera que durante los próximos años el mayor crecimiento del consumo provenga de este sector.
- Grasas lubricantes; se amplía el rango de temperatura operacional, aumenta su resistencia al agua, se mejora la estabilidad mecánica, entre otros beneficios.
 - Electrolisis de aluminio, donde ayuda a bajar la temperatura operacional y ahorrar energía y costos de material.
 - Aplicaciones o farmacéuticos para tratar medicamento patologías mentales.
 - Aleaciones de bajo peso con aluminio, cadmio, cobre y manganeso, y de uso común en la industria aeronáutica aleado.
 - Otras aplicaciones como en el aire acondicionado, polímeros, cauchos y termoplásticos.
 - Captación de CO₂.

⁶ El potencial de reducción del litio, que se define a través de la fórmula $\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$, tiene un valor muy negativo en comparación con otros elementos ($E^0 = -3,045$); por lo tanto, cuenta con elevado potencial electroquímico. En baterías de litio, se almacena la energía eléctrica durante el proceso de carga a través de la inserción de un electrón en el ion de litio (reducción). En tanto, en el proceso de descarga, se libera el electrón (oxidación).

⁷ Al cargar la batería, el ion de litio (Li⁺) capta electrones y pasa a litio metálico, y viceversa al descargarse.



* Nota: El cloruro de litio es un producto primario cuando se obtiene directamente de la salmuera y un producto secundario en caso de elaborarlo a partir del carbonato o hidróxido de litio.

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

Fig. 14: Cadena de producción del litio.

A partir del concentrado de litio y las salmueras se produce el carbonato de litio y el cloruro de litio, que forman la materia prima para otros compuestos y químicos especiales de litio con diversas aplicaciones.

Los productos básicos (carbonato, cloruro e hidróxido) se consumen solo en una fracción para usos directos y principalmente para la elaboración de productos secundarios de más alta tecnología que son los que realmente tienen la amplia gama de aplicaciones (Fig. 14). Por ejemplo, en las baterías ión-Li el litio se encuentra en los electrodos (cátodos de LiCoNiMnO donde el litio es menos del 7% y ánodos de LiTiOC , donde el litio es menos del 1%) y el electrolito (LiPF_6 , donde el litio es menos de 13%). Asimismo, el carbonato de litio se utiliza en la industria del acero como una componente en polvos aditivos en el *continuous casting*, un proceso especializado de solidificación de metal.

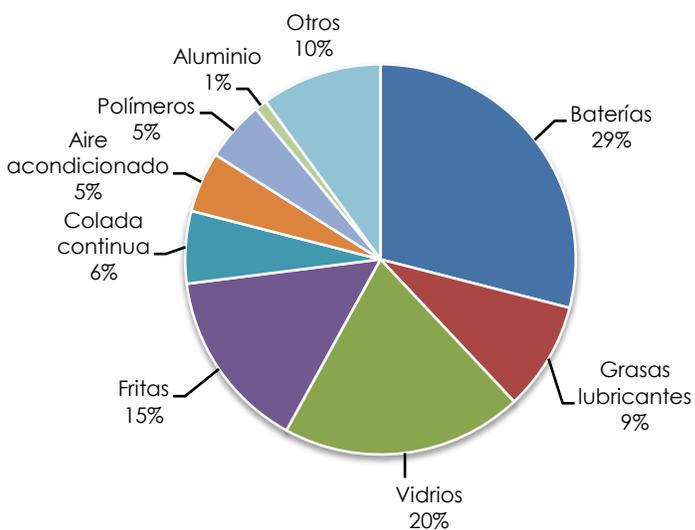
Actualmente, el principal foco de consumo es el rubro de la baterías con el 29%, seguido por los vidrios con 20% y fritas con 15%, luego las grasas lubricantes con 9%, colada continua con 6%, aire acondicionado y polímeros con el 5% c/u, y la industria de aluminio con 1% (Fig. 15). El 10% lo explican las múltiples aplicaciones menores restantes.

Por otra parte, diversos compuestos de litio se utilizan en aplicaciones técnicas en la industria de vidrios y cerámicas, ya que benefician el proceso de fundición al disminuir el punto de fusión y la viscosidad de la fase líquida. De esta manera se mejora la durabilidad química, densidad y trabajabilidad, entre otros beneficios.

Tabla 11. Los productos del litio y sus principales aplicaciones asociadas.

	Producto de litio	Aplicaciones principales
Productos básicos	Carbonato de litio	Elaboración de cloruro, hidróxido y otros productos especiales de litio Vidrios y cerámicas CC Powder (<i>continuous casting</i>) Químicos y adhesivos
	Cloruro de litio	Elaboración de productos especiales de litio Fundentes Aire acondicionado Aplicaciones de aluminio
	Hidróxido de litio	Elaboración de productos especiales de litio Grasas lubricantes Absorción de CO ₂
Productos especiales	Litio metálico	Ánodos en baterías de litio no recargables Farmacéuticos Fusión nuclear Aleaciones de bajo peso (con Al)
	Otros compuestos inorgánicos y orgánicos	Componentes de baterías recargables de litio (inorgánicos) Polímeros (orgánicos) Agroquímicos (orgánicos) Farmacéuticos Electrolisis de aluminio Materiales electrónicos

Fuente: COCHILCO en base a información de compañías productoras de litio



Fuente: Roskill(2013)

Fig. 15. Participación de las diversas aplicaciones en la demanda mundial del litio en 2012 (150.000 t LCE).

En 2012 la industria de vidrios y fritas fue responsable del 35%, siendo la aplicación más importante en la actualidad. La elaboración de baterías de litio alcanza el 29%, sin embargo, hacia 2020 esta podrá abarcar casi la mitad de la demanda mundial debido al creciente uso en vehículos eléctricos.

3.2 Usos y consumo por aplicación y tasa de crecimiento

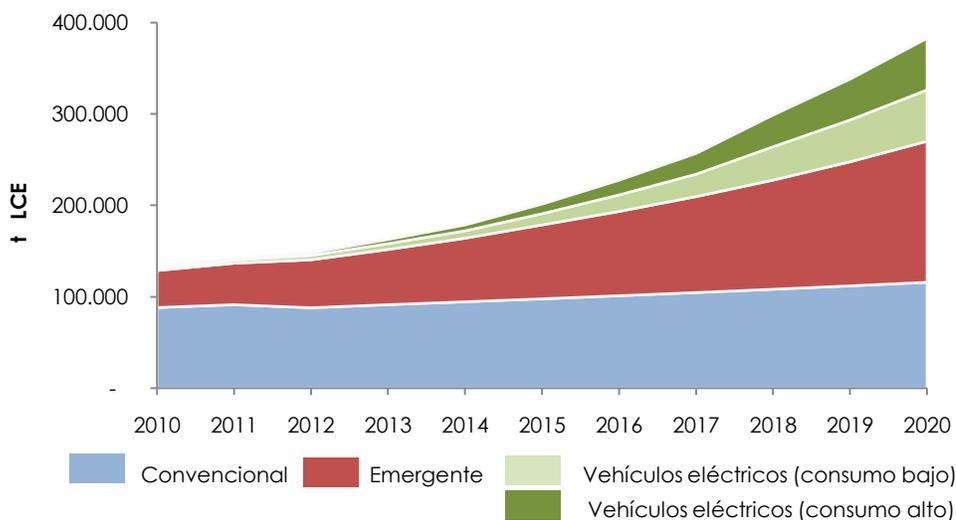
Las aplicaciones del litio se pueden dividir en usos convencionales, emergentes y futuros, dependiendo de la evolución de la demanda, es decir, en función de su desarrollo presente y futuro. Mientras los usos convencionales mostrarán un bajo crecimiento durante los próximos años, las aplicaciones emergentes y futuras tendrán un alto crecimiento con una tasa igual o mayor a 15% anual.

Los usos convencionales del litio son sus aplicaciones en la industria de vidrios y cerámicas, farmacéuticos y grasas lubricantes de alta temperatura, acumulando cerca del 60% de la demanda actual. La tasa de crecimiento de la demanda es menor y depende del PIB global (Tabla 12).

Tabla 12. Clasificación de aplicaciones según su crecimiento

Tipo de uso	Aplicaciones	Tasa de crecimiento de la demanda
Convencional	Fabricación de vidrios y cerámicas. Grasas lubricantes de alta temperatura. <i>Continuous casting</i> , aire acondicionado, polímeros, farmacéuticos, entre otros.	Menor
Emergente	Baterías de alta densidad energética. Aleaciones de bajo peso en la industria aeroespacial. Refuerzo de hojas de turbinas. Baterías de gran escala para almacenamiento de energía eléctrica.	Alta (15% anual)
Futuro	Baterías recargables para vehículos eléctricos Reactores de fusión nuclear	Alta a partir de 2015/16 ($\geq 15\%$ anual) A partir del 2050 (ver Cap. 3.4)

Fuente: Talison (2012)



Fuente: Talison (2012)

Fig. 16: Proyecciones de consumo de litio en relación a sus aplicaciones y el respectivo crecimiento. Mientras los usos convencionales mostrarán un bajo crecimiento durante los próximos años, las aplicaciones emergentes y futuras tendrán un alto crecimiento con una tasa mayor a 15% anual.

En tanto, los usos emergentes incluyen las aplicaciones con altas tasas de crecimiento de la demanda, tales como las baterías de alta densidad energética (recargables en portátiles), baterías de gran escala para estabilización de redes eléctricas, aleaciones de bajo peso y refuerzo de hojas de turbinas (Tabla 12; Fig. 16). Actualmente, estos sectores acumulan cerca del 30% de la demanda (Talisson, 2012). Respecto del crecimiento de la demanda, durante los últimos años registraron un incremento anual de 20% y hacia el 2020 se espera que se mantenga en un nivel de 15%.

En relación a los usos futuros son aquellos cuya magnitud de aumento depende de las innovaciones tecnológicas de las baterías sobre todo en cuanto a su densidad energética y precio, para hacer viable su aplicación más masiva en vehículos. Además influye el desarrollo económico de Asia y el incremento del consumo que implica para los usos de las baterías.

Uno de los usos futuros son las baterías para vehículos eléctricos (bicicletas, scooters, autos, buses, taxis y camiones) que en este momento solo abarcan el 2% de la demanda total mundial (GEM, 2012). Sin embargo, se prevé un fuerte crecimiento a partir de 2015/2016 que podría llevar a que esta aplicación sea responsable de un cuarto del consumo.

3.3 Demanda actual y su distribución geográfica

Durante los últimos 10 años, la demanda de litio se duplicó. Mientras en 2002 alcanzó apenas 70.000 t LCE, en 2012 el consumo aumentó a alrededor de 150.000 t de LCE (Fig. 17). Ello corresponde a una utilización de la capacidad de producción de litio instalada a nivel mundial de alrededor del 50%.

Cabe destacar la demanda por parte de China, que ha triplicado durante los últimos diez años, desde cerca de 18.000 t LCE en 2002 a más de 50.000 t LCE en 2012 (Fig. 17; Roskill, 2013). Asimismo, Corea del Sur aumentó su consumo en más de un 30% debido al rápido crecimiento de su industria de baterías recargables.

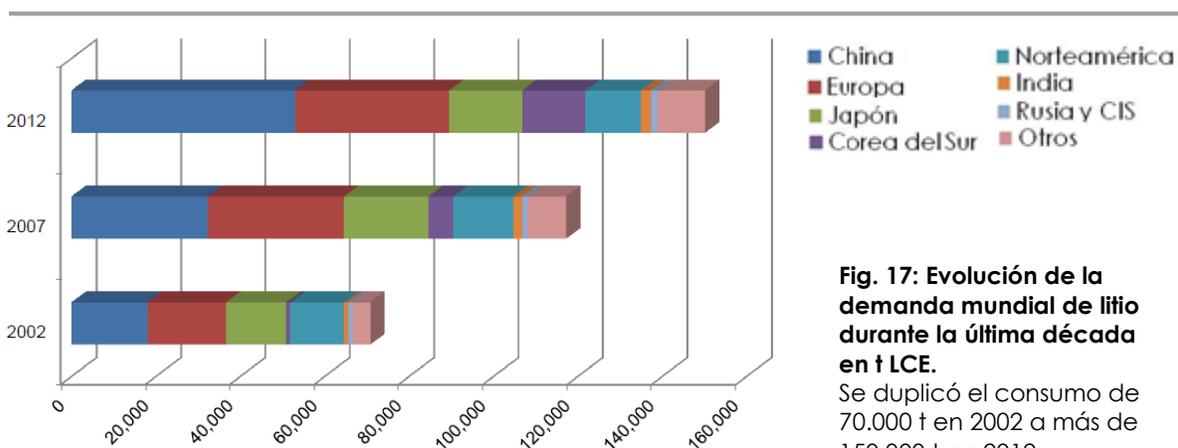
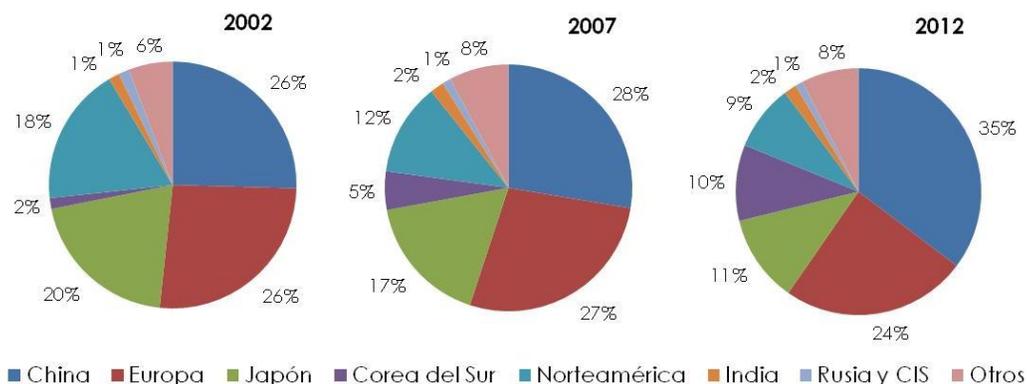


Fig. 17: Evolución de la demanda mundial de litio durante la última década en t LCE.
Se duplicó el consumo de 70.000 t en 2002 a más de 150.000 t en 2012.

Fuentes: Roskill (2013) en base a USGS y estimaciones

Respecto de la participación porcentual en la demanda, en este momento hay cinco principales países o regiones consumidores de litio, que son China en primer lugar con 35% del consumo total de alrededor de 150.000 t de LCE (Fig. 18), seguido por Europa (24%), Japón (11%), Corea del Sur (10%) y el Norteamérica (EEUU y Canadá, 9%). Por su parte, la demanda asiática suma más de la mitad del total mundial.

Al mismo tiempo la competencia de China y Corea del Sur ha afectado la industria nipona cuyo consumo creció solo en un 7%, disminuyendo su participación porcentual en el escenario global de 20% en 2002 a 11% el año pasado (Fig. 18).



Fuentes: Roskill (2013) en base a USGS y estimaciones

Fig. 18: Participación en el consumo mundial según país/región en %.

Durante la última década, la demanda asiática ha aumentado considerablemente y en la actualidad suma más de la mitad del total mundial, destacando China con el 35%.

3.4 El litio en la fusión nuclear

El litio ha sido considerado como un material fundamental para el desarrollo de los reactores de fusión nuclear, cuyo futuro aun está incierto y en plena etapa de investigación y desarrollo. Aún no hay certeza si realmente es una fuente viable de energía para el consumo masivo y para cuándo se podría esperar su uso comercial.

Considerando las tecnologías actuales, la reacción más factible es la fusión nuclear de los dos isótopos pesados del hidrógeno (el deuterio, D, y el tritio, T) que libera 17,6 MeV (equivalente a 2.800 MJ) versus 200 MeV para la fisión de U-235 (World Nuclear Association, 2012). Mientras el deuterio se halla abundantemente en el agua de mar, el tritio es escaso en la naturaleza y es radioactivo, con una vida media relativamente corta de 12 años. Cantidades usables de este último se obtendrían bombardeando litio-6 con neutrones.⁸

⁸ Cuando litio-6 (tres protones, tres neutrones) absorbe un neutrón se divide en helio (dos protones, dos neutrones) y tritio (un protón, dos neutrones), emitiendo 4,8 MeV de energía (World Nuclear Association, 2012).

En un reactor de fusión, el concepto es que los neutrones generados a partir de la reacción de fusión D-T en su centro sean absorbidos en un manto cerámico que contiene litio y que rodea el núcleo (World Nuclear Association, 2012). El litio se transforma entonces en helio y tritio que, a su vez, se utiliza para alimentar el reactor.

De esta forma el litio actuaría como productor de tritio, permitiendo además su empleo como un excelente refrigerante del manto y medio de transporte calorífico, debido a su alta capacidad calórica, baja viscosidad, alta conductividad térmica y baja presión de vapor.

Actualmente, se está construyendo en el sur de Francia el reactor experimental ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), cuyo objetivo es el desarrollo de la fusión nuclear como fuente futura de energía eléctrica, y que realizaría los primeros experimentos a partir de 2020 (ITER, 2013). Este prototipo de 500 MW no será destinado a la producción de energía eléctrica sino a probar las tecnologías claves necesarias para demostrar la viabilidad de la fusión nuclear como fuente de energía a nivel masivo.

El programa de desarrollo de la fusión nuclear contempla además la construcción de un reactor nuclear demostrativo (DEMO) de 2.000-4.000 MW de potencia. Este podría entrar en operación a comienzos de la década de 2030 y sería el primer reactor en generar electricidad, proveyéndose de tritio a partir de generadores de litio.

De cumplirse lo anterior, para el 2050 se proyectaría la entrada en operación del primer reactor comercial de fusión (PROTO) de 1,5 GW de potencia. Sin embargo, la producción a gran escala de energía eléctrica a partir de reactores de fusión nuclear estaría consolidada recién en 2100 (Lagos, 2012).

Según Bradshaw et al. (2010), más que el consumo anual, sería la implementación inicial de la tecnología que tendría el mayor impacto sobre la demanda, ya que las primeras cargas del manto que rodea el núcleo del reactor, requieren al menos varios centenares de toneladas de litio (Hamacher & Bradshaw, 2001).

Asumiendo que la necesidad adicional de energía que se generará a partir de 2050, se cubriría mediante la fusión nuclear, los autores estiman que se requerirían 2.760 plantas a nivel mundial de 1GW, y éstas demandarían entre 124.000 a 860.000 t de litio⁹, aproximadamente. Ello podría generar una estrechez temporal en el abastecimiento del recurso durante la segunda mitad de este siglo, en la medida que este desarrollo se realice antes del 2100.

En comparación, el consumo anual de litio en los reactores de fusión nuclear sería relativamente bajo (3,6 tpa de litio en una planta de 1 GW). Sumando el total de las plantas mundiales estimadas, estas consumirían alrededor de 10.000 t de litio por año, correspondiente a cerca de 50.000 t de LCE, un tercio de la demanda actual.

⁹ La proyección de Bradshaw et al. (2010) se basa en la instalación de 2.760 plantas a nivel mundial con 1 GW cada una a partir de 2050 para cubrir un adicional de 24.000 TWh.

4. Flujo internacional del litio

Para entender el mercado mundial del litio y su dinámica es necesario comparar la distribución geográfica tanto de la oferta como demanda, analizar el comercio internacional y detectar de esta manera el flujo de la materia prima.

4.1 Comercio internacional de los compuestos básicos de litio

En los mercados internacionales existen diversos productos tratados, de los cuales los compuestos básicos -el carbonato, cloruro e hidróxido- son de mayor importancia, por lo que este capítulo se enfoca solamente a éstos.

4.1.1 El mercado del carbonato de litio

El carbonato es el producto de litio más importante tratado en los mercados internacionales. Su producción se concentra básicamente en Chile, donde se recupera a partir de las salmueras del Salar de Atacama, y en China a través de la conversión de concentrados de mineral, sobre todo del importado desde Australia (Fig. 19).

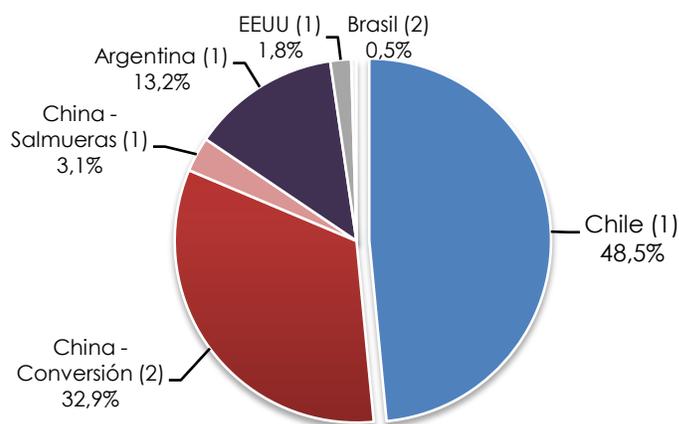


Fig. 19: Participación en la producción de carbonato de litio.

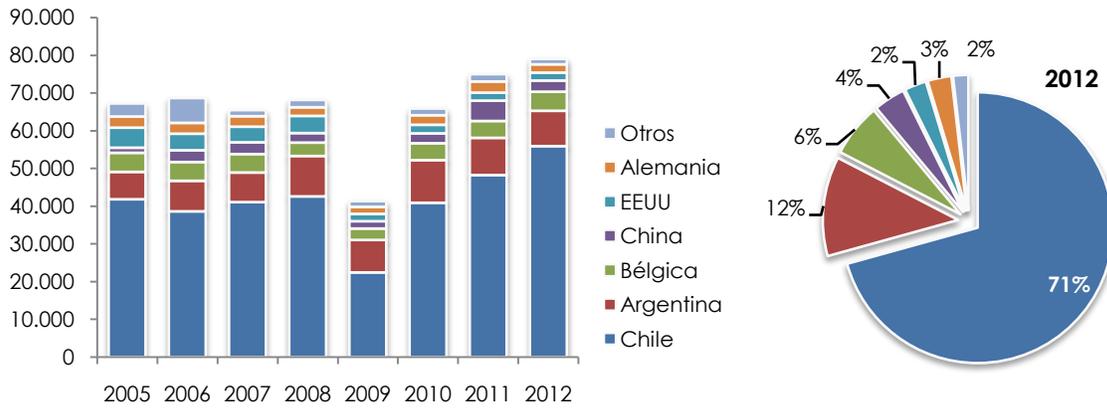
La mayor parte del carbonato de litio es producida en Chile por SQM y SCL. También es importante su producción a partir de la conversión de minerales que se realiza sobre todo en China.

Fuente: COCHILCO base a Roskill (2013) e información de empresas mineras.

Respecto de las exportaciones globales de este compuesto, ellos ascendieron a alrededor de 79.000 t en 2012 (Roskill, 2013), siendo Chile y Argentina los mayores exportadores de carbonato de litio con una participación del 71% y 12% del total mundial, respectivamente (Fig. 20).

De acuerdo a lo anterior, el destino principal de carbonato de litio proveniente de Sudamérica es Asia; y a nivel países, China, Japón y Corea del Sur son responsables de la mitad de las importaciones internacionales (Fig. 21). Las internaciones de estos tres países alcanzan cantidades parecidas: alrededor de 13.000 t cada uno en 2012 (en torno al 16%). Asimismo, EEUU recibe el 16% y la UE al menos 25%.

En el caso de China, salta a la vista la diferencia entre su destacable participación en la producción mundial de carbonato de litio (36%) y el bajo porcentaje en las exportaciones globales (4%), lo que refleja el alto consumo interno del compuesto.

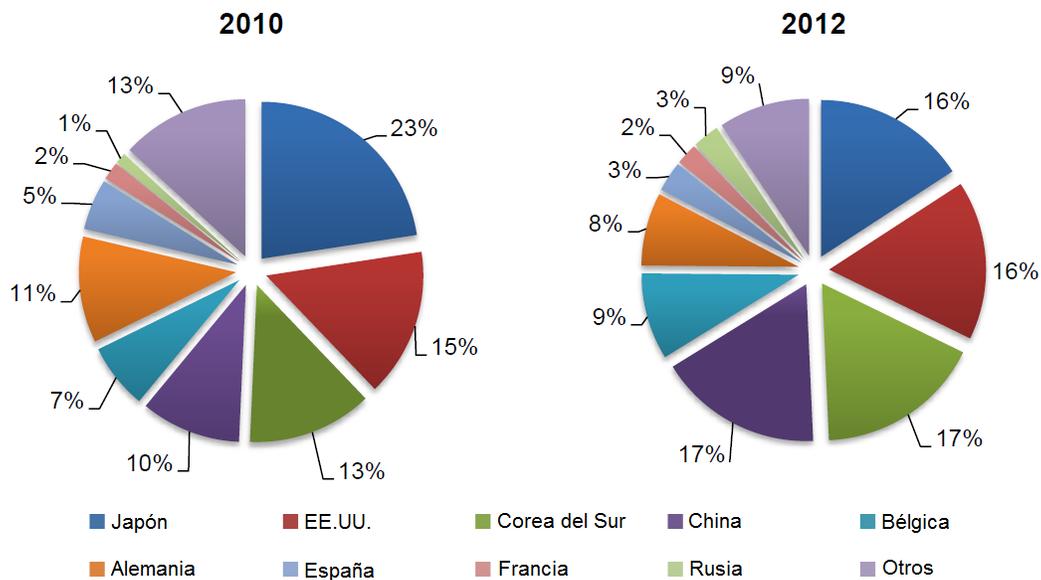


a.)

Fuente: GTIS citado en Roskill (2013)

b.)

Fig. 20: a.) Principales países exportadores de carbonato de litio entre 2005 y 2012. Las exportaciones globales ascienden a casi 80.000 t de carbonato de litio en 2012. **b.) Su participación porcentual en 2012.** Chile y Argentina suman más del 80% del total global.



Fuente: GTIS citado en Roskill (2013)

Fig. 21: Participación global de los principales importadores de carbonato de litio en 2010 y 2012. Los países asiáticos son los mayores importadores a nivel mundial, y en conjunto son responsables de la mitad del comercializado.

4.1.2 El mercado del cloruro e hidróxido de litio

En cuanto al cloruro de litio, el 96% tratado mundialmente se extrae de las salmueras de los salares de Atacama (por la SCL perteneciente a Rockwood) y Hombre Muerto (por FMC), y es enviado desde Chile y Argentina sobre todo a EE.UU. y China.

Cabe mencionar que en Chile además se registran exportaciones de una pequeña cantidad de salmuera, o cloruro de litio en solución, con los mismos destinos. Según Roskill (2013), éstas corresponden en su gran mayoría a envíos en el marco de un acuerdo de abastecimiento entre SGM y Ganfeng Lithium de China.

Por su parte, el hidróxido de litio se produce y exporta principalmente desde los siguientes países: EEUU (32% en 2012), Chile (25%), China (16%), Bélgica (11%) y Rusia (11%). Los destinos más relevantes son Japón (23% en 2012), Bélgica (13%) e India y EE.UU. (ambos 8.6%), donde se encuentran las plantas de los grandes productores de compuestos y sales especiales de litio, materiales de baterías, etc.

Finalmente, la producción de compuestos y sales especiales de litio, materiales de litio para baterías y baterías se realiza principalmente en las regiones de mayor consumo de litio: China, Europa, Japón, Corea del Sur y EEUU, quienes en conjunto concentran el 90% de la demanda mundial.

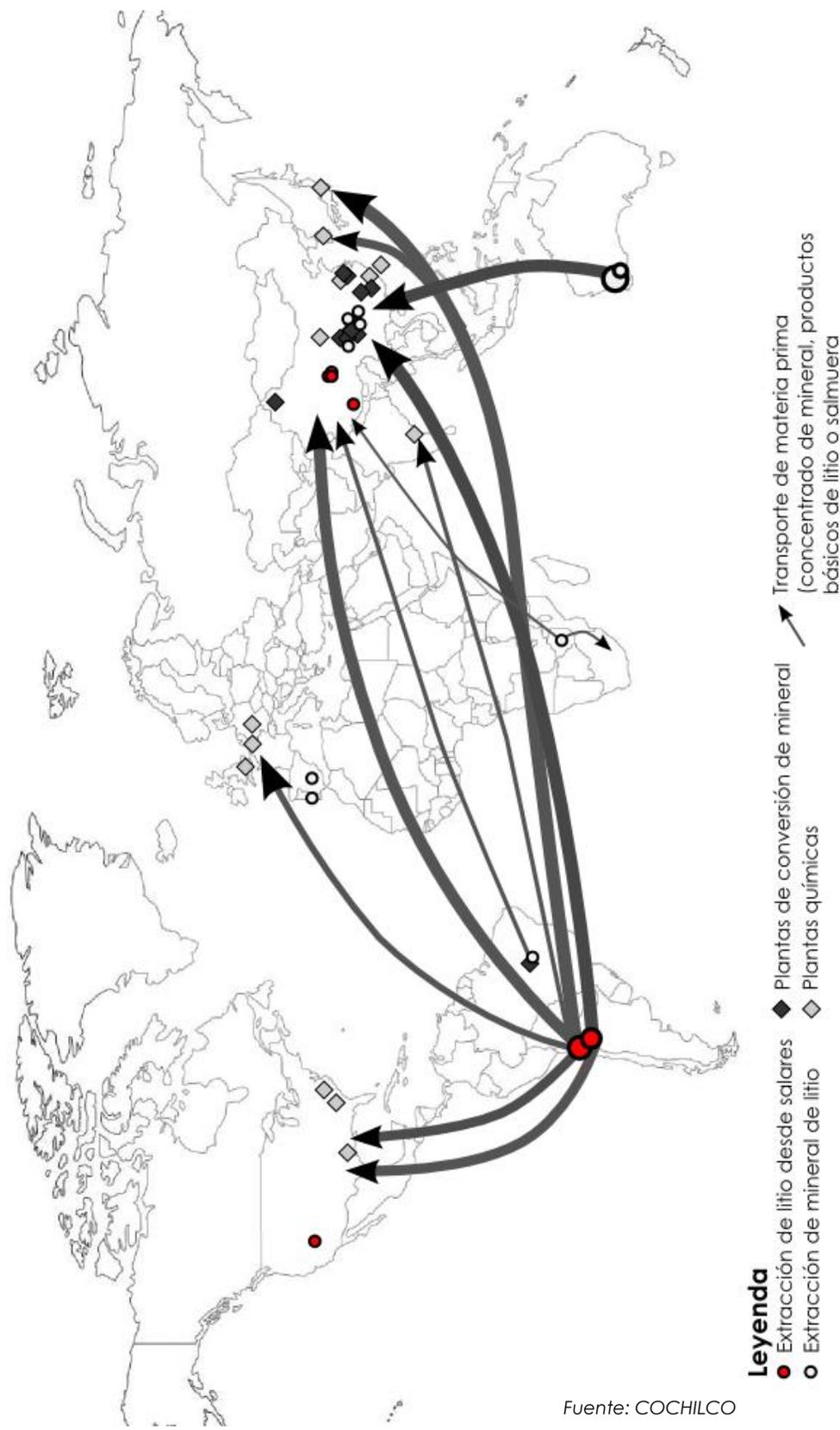
4.2 Flujo internacional de materia prima

Debido a la distribución geográfica de los centros productivos y la demanda, el mayor flujo de materia prima es de Sudamérica y Australia hacia Asia, sobre todo a China (Fig. 22). Mientras el material embarcado en Australia son los concentrados de espodumeno, Chile y Argentina envían compuestos básicos de litio.

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

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

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



Fuente: COCHILCO

Fig. 22: Distribución geográfica de centros de extracción y conversión de litio, y el flujo global de materia prima

5. Elementos estratégicos del litio

El litio en Chile goza de una calificación legal de sustancia estratégica, es decir vinculada al interés nacional. Ello se debe a la disponibilidad del recurso en el país y a sus potencialidades de aplicación tanto en la fusión nuclear para la generación eléctrica como en usos comunes principalmente vinculados al almacenamiento de energía. Por ello el litio cuenta con un tratamiento jurídico específico que lo diferencia de cualquier otro recurso natural del país. En este capítulo se exponen los antecedentes de dicha calificación.

5.1 Políticas públicas internacionales en el ámbito del litio

La presente sección resume las políticas públicas que, en el ámbito del litio, se observan en los principales países productores. Como se aprecia en la Tabla 13, en la mayoría de los países en los cuales se explota el litio, o que cuentan con proyectos en desarrollo, este mineral se define como concesible o explotable, tal como es el caso de Australia, Canadá y Estados Unidos.

Tabla 13: Políticas públicas en el ámbito del litio en otros países

País	Propiedad	Legislación	Impuesto a la renta	Royalty
Argentina	Concesible	Considerado un recurso estratégico en las provincias de Catamarca, Salta y Jujuy. En estos casos los proyectos son aprobados por un comité de expertos.	35%	3%
Australia	Concesible	Minerales son del Estado. El litio es tratado como cualquier otro producto mineral.	30%	5%
Bolivia	No concesible	Por decreto, desde 6 de diciembre de 2010 todas las concesiones mineras vigentes pasan a ser "transitorias". Litio pertenece al Estado quien lo administra.	25%	12,5
Canadá	Concesible	Minerales son del Estado.	16,5	10-16%
Chile	No concesible	Litio considerado estratégico y debe explotarse por el Estado o sus empresas o con contratos especiales. En concesiones anteriores al año 1979 se puede extraer.	19%	-6,8% para litio -Arriendo a CORFO (SQM)
EEUU	No se requiere concesión	Dueño de un terreno es dueño del subsuelo. Al explotar litio, extrae minerales de su propiedad.	15-35%	--

Fuente: COCHILCO

En Argentina, por su parte, donde las reservas de litio se concentran en las provincias de Jujuy, Salta y el norte de Catamarca, la situación es particular. En algunas de estas provincias el mineral es considerado un recurso estratégico y su extracción debe ser aprobada por un comité de expertos.

Sin embargo, en los países con las mayores reservas de litio –es decir, Bolivia y Chile- su extracción es restringida. La nueva Constitución de Bolivia de 2009 puso en manos del Estado el control de los recursos naturales. En ese marco se ha encarado un proyecto público de industrialización del litio a cargo de la Dirección de Evaporíticos de Bolivia, como brazo operativo especializado de la estatal Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL). Lo anterior se debe a las intenciones del actual gobierno del Presidente Evo Morales de proteger los recursos naturales en territorio boliviano de la explotación por compañías extranjeras (Roskill, 2013). Sin embargo, el país tiene como objetivo principal el ser un productor competitivo en el entorno internacional, para lo cual busca socios para el desarrollo de sus proyectos (ver Cap. 2.5).

No se dispone de información respecto a políticas específicas para el litio en China, en particular sobre las opciones de inversión para privados extranjeros.

5.2 Marco regulatorio en Chile

La siguiente sección se refiere a los antecedentes de la normativa particular que posee el litio dado el carácter estratégico anteriormente señalado en nuestro país.

5.2.1 Política específica para el litio en Chile

El litio está declarado como material de interés nuclear por su relevancia funcional en reactores de fusión nuclear¹⁰, en las mismas condiciones de otros elementos o compuestos que sirvan para uso específico en instalaciones nucleares, tales como el uranio y el torio (Reglamento de términos nucleares, Decr. N°450 1975 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción).

Por la condición anterior, el litio está reservado para el Estado. Sólo puede ser comercializado por o con la autorización de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) y acopiado por la misma autoridad en la cantidad que necesitara o conviniera al país según ella determine. En virtud de ello, el litio no puede ser objeto de ningún acto jurídico sin participación directa de la CCHEN o sin su autorización previa (D.L. N° 1.557 – 1976 y D.L. N° 2.886 - 1979).

Además, no es una sustancia minera concesible, sin perjuicio que se mantienen las concesiones amparadas por el Código de Minería de 1932 vigentes a Noviembre 1979 (Ley N° 18.097 Orgánica constitucional de concesiones mineras – 1982 y Código de Minería 1983, Art. 7; ver Anexo 4).

Para el caso de concesiones que contengan sustancias concesibles y no concesibles (litio), el titular deberá comunicar la existencia de estas al Estado para que este determine, a través de la CCHEN, si exige o no la separación de las sustancias (Código de Minería 1983, Anexo 4). Si se separaran, la sustancia no concesible se entregaría al Estado y quedaría afecta a las condiciones especiales de comercialización (ver Cap. 5.2.3).

¹⁰ El litio tiene dos isótopos: Li⁶ y Li⁷. Solo el Li⁶ tiene aplicación nuclear. Este se encuentra presente uniformemente en los recursos de litio en un 6% y debe ser separado para su aplicación nuclear, mediante un proceso específico.

Cabe señalar que, a diferencia del litio, para las demás sustancias de interés nuclear, que son el uranio y el torio, se levantó la condición de no concesible en el Código de Minería de 1983 (ver Anexo 5). Así es que ambas sustancias ahora son concesibles, apropiables como tales y protegidas constitucionalmente por el derecho de propiedad, según la ley N° 16.319. Sin embargo, no pueden ser objeto de ninguna clase de actos o contratos (prohibición legal) sino cuando ellos se ejecuten o celebren por el Estado, con este o con su autorización. Además, el Código de Minería de 1983 establece en el Artículo 10° que el Estado goza, al precio y modalidades habituales del mercado, del derecho de primera opción de compra de los productos mineros originados en explotaciones mineras desarrolladas en el país en los que el torio o el uranio tengan presencia significativa (ver Anexo 5).

5.2.2 Modalidades de explotación

La explotación de litio es libre para los tenedores de las concesiones amparadas por el Código de Minería de 1932 y vigentes a noviembre de 1979 (Tabla 14). Para las restantes concesiones vigentes con posterioridad y las que se puedan constituir a futuro, se establecen las siguientes modalidades de explotación y bajo las condiciones que fije el Presidente de la República en cada caso:

- a) Por el Estado o por sus empresas
- b) Por concesiones administrativas
- c) Por contratos especiales de operación

Tabla 14. Empresas que mantienen concesiones constituidas antes de 1979 en los 15 salares con potencial de explotación de litio

Salar	Tenedores de concesiones entre 1932 y 1979
Salar de Atacama	CORFO
Salar de Maricunga	CODELCO Salvador Simbalik (concesiones Cocina 1 a 9) Li3 Energy (concesiones Cocina 19 a 27) Otros
Salar Pedernales	CODELCO Salvador
Salar de Quisquiro	Minera Fénix
Salar de Aguilar	ENAMI

Fuente: COCHILCO en base a al Catastro de Concesiones Mineras de SERNAGEOMIN¹¹

5.2.3 Comercialización

Todo producto de litio en cualquiera de sus modalidades debe contar con la autorización de la CCHEN para ser comercializado en cualquiera de sus formas, sin perjuicio que la CCHEN opte por adquirirla total o parcialmente, en nombre del Estado y en virtud del interés nacional para contar con la sustancia correspondiente. La comercialización a un tercero tiene la prohibición expresa que el comprador no podrá utilizar el producto, directa o indirectamente, para fines nucleares.

¹¹ Recuperado del Sistema de Visualización del Catastro de Concesiones Mineras, disponible en: <http://catastro.sernageomin.cl>.

5.2.4 Organismos públicos involucrados en la minería del litio en Chile

En la actualidad CCHEN, CORFO, SERNAGEOMIN y la Dirección General de Aguas (DGA) son los organismos públicos involucrados en la explotación y fiscalización del litio en las salmueras. Sin embargo, la CCHEN es el organismo encargado del control de la comercialización del litio.

5.2.4.1 CCHEN

La Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) fue creada en 1965 por la Ley N° 16.319 con el objetivo de atender los problemas relacionados con la producción, adquisición, transferencia, transporte y usos pacífico de la energía atómica, y regular, fiscalizar y controlar las instalaciones nucleares y las instalaciones radiactivas relevantes en todo el país.

En el ámbito del litio, debe cumplir los roles que le asignan las disposiciones legales específicas para el litio; es decir, representa al Estado en todo lo referente a la reserva estatal de los materiales atómicos naturales y el litio, por lo cual ejerce el control de la extracción y comercialización de estos minerales.

En términos prácticos, la CCHEN debe ejercer en primera instancia la opción de compra del Estado sobre el litio si es de interés nacional y autorizar la comercialización del resto del litio para fines expresamente no nucleares (fusión nuclear). Actualmente este organismo público mantiene el registro de las ventas de litio de las dos compañías autorizadas a explotarlo en Chile, y el control correspondiente a que no sobrepasen los límites establecidos para c/u de ellas.

5.2.4.2 CORFO

La Corporación de Fomento a la Producción (CORFO) es dueña de las concesiones en el Salar de Atacama anteriores a 1979, las cuales son explotadas actualmente por la SCL (Rockwood) y por la compañía chilena SQM, en virtud de contratos específicos con límites a la extracción de litio en el tiempo y/o en cantidad.

El rol de la corporación en el litio es básicamente cautelar sus derechos en los contratos y recaudar los pagos convenidos, lo que ejerce a través de SEP¹².

En el contrato con SQM, se establece un pago, a modo de arriendo de las concesiones, por las ventas de litio, de potasio y de ácido bórico. En el caso de SCL (Rockwood) solo se contempla un pago por el potasio, pues el usufructo de las concesiones otorgados por CORFO fue reconocido como un aporte a la constitución de la sociedad inicial¹³.

¹² El Sistema de Empresas Públicas (SEP) es un Comité CORFO, establecido como un organismo técnico del gobierno de Chile, cuya función es la administración de las empresas CORFO y de asesorar a los diversos ministerios en el control de gestión de las empresas que dependen de esas reparticiones sectoriales.

¹³ Sociedad Chilena del Litio SCL, constituida en agosto 1980 por CORFO (45%) y FOOTE MINERALS CO. (55%). CORFO vendió posteriormente su participación a su socio. Los derechos de Foote fueron traspasados posteriormente a sus sucesores por cambios en la propiedad de la compañía (Foote / Cyprus / Chemetall / Rockwood).

5.2.4.3 SERNAGEOMIN

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) cumple el rol sobre propiedad, seguridad y producción minera que le asigna su ley orgánica, considerando las características específicas que tienen las concesiones para explotar litio. También le corresponde identificar la ubicación y caracterización de los recursos de litio en el territorio nacional. En ese contexto recopila la información sobre la cantidad de salmuera extraída desde el salar y la producción de sales de potasio y litio, y del ácido bórico.

5.2.4.4 DGA

La Dirección General de Aguas (DGA) tiene competencias sobre los derechos de agua y la gestión que se hace de los reservorios de salmueras, considerando la sustentabilidad de ellos y su compatibilidad con los derechos de otros usuarios de la cuenca, principalmente comunidades agrícolas locales.

5.2.4.5 Empresas del Estado

El Estado, a través de algunas de sus empresas es también titular de concesiones mineras habilitadas para ser explotadas en cualquiera de las opciones que señala la ley. CODELCO tiene concesiones en los salares de Maricunga y Pedernales, mientras que ENAMI, en el Salar de Aguilar. Cabe destacar que actualmente CODELCO tiene en estudio alguna forma de asociación con un tercero especialista para la explotación de sus recursos de litio.

5.3 Análisis FODA

Para poder desarrollar las acciones políticas que mejoren el funcionamiento del sector, es fundamental tener mayor claridad sobre las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que se reconocen para el desarrollo de la industria del litio en Chile. Con este objetivo en la Tabla 15 se presentan los lineamientos básicos de un análisis FODA. Este análisis se hace en función de los antecedentes anteriormente presentados, es decir, considerando las características del mercado del litio y la posibilidad de potenciar los recursos económicos de Chile.

Tabla 15. Matriz del análisis FODA: Fortalezas y debilidades de la minería de litio en Chile

Fortalezas	Debilidades
<p>1. Potencial geológico de Chile:</p> <ul style="list-style-type: none"> → La cantidad de recursos minerales en los salares del norte convierten a Chile en un país atractivo para la extracción del litio. → Las salmueras en los Salares de Atacama son de buena calidad debido a su alta concentración de litio. Además los altos contenidos de potasio y boro y el bajo contenido de magnesio favorecen el proceso de tratamiento y la extracción del litio. <p>2. Costos de producción:</p> <p>Las operaciones en el Salar de Atacama cuentan actualmente con los costos de producción del litio más bajos en el mundo, y se ven favorecidos por:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Coproducción de potasio reduce los costos de producción del litio. → La ubicación geográfica de los yacimientos en zonas de clima árido y alta radiación solar favorece la evaporación solar como método de explotación de bajo costo. <p>3. Clima de inversión:</p> <ul style="list-style-type: none"> → La legislación actual protege la inversión extranjera y facilita el desarrollo de proyectos. → Gracias a tratados comerciales con las principales economías mundiales, los productos elaborados de litio no enfrentarían barreras arancelarias en sus principales mercados. 	<p>1. Debilidades que impiden aumentar el beneficio económico del litio:</p> <ul style="list-style-type: none"> → La CCHEN vela por el interés nuclear del litio, independiente del valor económico que pueda representar para el Estado. → Para las empresas estatales con concesiones en los salares, la explotación del litio es un negocio ajeno. Actualmente no cuentan con planes concretos para desarrollar trabajos en sus pertenencias. → Bajo desarrollo de competencias a través de acuerdos de transferencia de tecnología o conocimiento. Esto sí se realiza en los países vecinos y con importante potencial geológico que son Argentina y Bolivia. → Hay una inconsistencia entre datos públicos de diversos organismos estatales sobre producción y ventas de litio, dificultando el seguimiento, conocimiento y análisis de las condiciones actuales de Chile. <p>2. Restricciones al crecimiento de la producción</p> <ul style="list-style-type: none"> → La explotación del litio está limitada en cantidad y tiempo (caso de SQM y SCL), restringiendo las posibilidades de crecimiento de la producción en Chile y las perspectivas de largo plazo para las compañías involucradas. → Las pertenencias que pueden ser explotadas por privados sin limitaciones legales son escasas y solo han dado origen a un proyecto. Otras iniciativas están contempladas en zonas cuyas concesiones solo permiten la explotación vía un acuerdo con el Estado, lo que no está operativo actualmente. → Por ello, las compañías optan por desarrollar sus proyectos en otros países p.ej. Argentina. <p>3. Mercado internacional:</p> <ul style="list-style-type: none"> → Chile solo ofrece productos básicos. → No se han desarrollado competencias en la elaboración de productos especializados y tecnologías asociadas, a diferencia de sus competidores (p.ej. China). → La ubicación geográfica alejada a países consumidores de productos de litio hace más difícil la participación en un mercado altamente globalizado y de productos específicos.

Tabla 16. Matriz del análisis FODA: Oportunidades y amenazas de la minería de litio en Chile

Oportunidades	Amenazas
<p>1. Tendencias del mercado</p> <ul style="list-style-type: none"> → Se prevé un alza en la demanda hacia fines de esta década, debido a las expectativas respecto a las baterías de litio. → La creciente demanda podría inducir un alza en los precios del litio. → Existe un alto interés de privados por explotar el litio en el mundo y en Chile, en particular. 	<p>1. Mercado internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> → Se proyecta un aumento significativo de la capacidad productiva en otros países a través de proyectos en desarrollo (p.ej. Argentina y Canadá), afectando el liderazgo de Chile en el mercado global. → La innovación de procesos extractivos en salmueras y minerales puede hacer viable en el mediano plazo el aprovechamiento de fuentes aun no explotadas, como salares en zonas menos áridas o la extracción de litio a partir de arcillas, con un competitivo costo de producción, p.ej. en EE.UU., amenazando la ventaja competitiva que presenta Chile → La actual dinámica global del mercado del litio se caracteriza por diversas modalidades de asociación entre productores y los principales consumidores lo que podría afectar la transparencia del mercado.¹⁴ Además, en Chile no existen aún este tipo de asociaciones. <p>2. Potencial geológico en otros países:</p> <ul style="list-style-type: none"> → La cantidad de reservas de litio en otros países (p.ej. en Argentina y Bolivia) disminuye la importancia de Chile a nivel mundial.

Fuente: COCHILCO

5.4 Análisis del carácter estratégico del litio

El carácter estratégico otorgado al litio en la década de los '70 obedeció a dos razones principales:

- a) El interés nuclear por su futura aplicación en reactores de fusión nuclear lo que generaba expectativas de una alta demanda a partir de los años 2020, es decir, 50 años después.
- b) La disponibilidad de recursos conocidos en cantidad y calidad que auguraban una capacidad de respuesta a dicha demanda y un eventual poder de mercado en el ámbito nuclear y energético.

Dado eso, el litio fue declarado no concesible con el propósito de controlar la explotación de los recursos ya conocidos. Esto lo diferencia de las otras sustancias nucleares, de las cuales el Estado desconoce la existencia de recursos en su territorio, y que sí son concesibles. De esta manera, se mantiene el incentivo a privados para explorar y explotar estos recursos, sin perjuicio que el Estado mantiene todas las prerrogativas para la primera opción de compra, si lo estima pertinente.

¹⁴ Ello se evidencia por el reciente acuerdo entre Rockwood y Tianqi, con el cual la norteamericana accedería al 49% de la propiedad de Talison y se convertiría en uno de los productores más grandes y mayor poder de mercado.

A pesar de lo anterior, en la opinión pública se aprecia una amplia creencia de que el carácter estratégico del litio se debería más a su importancia en los mercados internacionales que al interés nuclear propiamente tal. Estos supuestos están basados principalmente en proyecciones de un alto crecimiento de la demanda dentro de los próximos años por su uso como acumulador de energía, por ejemplo, en baterías recargables para vehículos eléctricos. Por ende, se vislumbraría un significativo potencial y margen de beneficio económico para el país. En cambio, existe conciencia que el uso nuclear es incierto y sería a muy largo plazo.

Sin embargo, luego de más de 30 años de aplicación del presente marco jurídico, es razonable preguntarse sobre la vigencia de las expectativas cifradas en el litio y, con ello, los fundamentos de su carácter estratégico. Sin perjuicio de lo anterior, en opinión de COCHILCO los argumentos relacionados con el interés nuclear del litio son de competencia de la CCHEN. Por lo tanto, su apreciación técnica se focalizará en la posición que ostenta Chile en el mercado internacional y sus posibles consecuencias para el país.

5.4.1 Liderazgo de Chile

En primer término, el liderazgo de Chile está siendo amagado por otros países con una cartera de proyectos ambiciosos de ampliación de capacidad productiva y el desarrollo de nuevos proyectos, algunos de ellos basados en nuevas tecnologías que podrán ser competitivas en el mediano plazo. Con ello se puede concluir que no se vislumbra estrechez de oferta mundial y más bien se estaría configurando una sobre-capacidad instalada que podría reaccionar fácilmente a incrementos súbitos y significativos de la demanda.

En estas circunstancias, Chile podría mantener su ventaja competitiva por los bajos costos de explotación en el Salar de Atacama. Pero ello no le da por sí solo poder de mercado, ante un mercado más diversificado y competitivo. Por ende, si no se avanza en esta materia, Chile perderá la oportunidad de mantenerse entre los líderes mundiales de este mercado.

5.4.2 Asociaciones estratégicas en otros países

El mercado internacional está viendo un cambio estructural en sus principales actores, donde China, Corea del Sur y Japón se constituyen como los principales países demandantes de productos básicos de litio. En consecuencia muestran una clara estrategia de posicionarse en los principales países productores, mediante adquisición de compañías productoras y/o *joint ventures* con compañías locales. El objetivo es asegurarse el abastecimiento de productos básicos de litio para elaborar los productos específicos en sus propias industrias. No se percibe que dicho interés manifestado, esté relacionado con aplicaciones de interés nuclear.

Esta tendencia también ha sido perseguida por el Estado de Bolivia con el objetivo de desarrollar capacidad productiva en productos específicos y así captar mayor renta de la

explotación del litio¹⁵, aun cuando solo el Estado tiene el derecho a explotarlo. Para ello pretende atraer inversiones asiáticas y europeas, entre otras.

Asimismo, el gobierno argentino se preocupa por el desarrollo de la industria del litio en su país, lo que se demuestra a través de iniciativas como el proyecto "Del salar a la batería"¹⁶ y la Mesa Nacional del Litio, integrada por los ministerios de Ciencia y Técnica, Industria y Economía. En este contexto, en noviembre de 2013 el Secretario de Minería del Ministerio de Planificación Federal, Jorge Mayoral, y el Secretario de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación, Martín Gil, firmaron un acuerdo para implementar un Plan Estratégico¹⁷ tendiente a la investigación de técnicas para agregar valor industrial al mineral de litio.

Cabe destacar que Rockwood Lithium a través de SCL, uno de los operadores en el Salar de Atacama, tiene una poderosa industria de elaboración de productos de litio, principalmente en EE.UU. y Alemania, pero no realiza actividad industrial avanzada en Chile, más allá de su actual producción básica.

5.4.3 Expectativas de la demanda

Desde el punto de vista de la demanda potencial del litio, se mantienen las expectativas que en un escenario optimista podría crecer a altas tasas en torno al 15% anual. Sin embargo, solo la aplicación de baterías recargables para vehículos eléctricos podría sostener tasas mayores al 15% para las próximas décadas.

Por otra parte, se debe considerar que paralelamente se investiga fuertemente en otras alternativas a las baterías Li-Ion con mejores atributos en duración de la recarga, seguridad, recambio y costo. Como estas soluciones alternativas es probable que sean competitivas en las próximas décadas, las mayores expectativas para el litio son para el corto y mediano plazo.

Respecto de la fusión nuclear, cabe mencionar que esta tecnología debería entrar a su etapa comercial recién en la segunda mitad del presente siglo. Si bien la elevada demanda de litio para la construcción de estas plantas nucleares podría producir una estrechez en el mercado, el consumo anual en etapa operativa sería de 3,6 tpa de litio metálico en una planta de 1 GW (Bradshaw et al., 2010), es decir, relativamente bajo. Por

¹⁵ Un ejemplo reciente es la firma de una Carta de Intenciones entre Bolivia y Holanda que considera el intercambio de investigación a través de programas de formación y capacitación, y la transferencia de tecnologías mediante la instalación de un centro de alta tecnología para la investigación y desarrollo de productos avanzados derivados de los recursos evaporíticos en Bolivia, y una planta de producción de baterías de litio en el país sudamericano.

¹⁶ Actualmente, Argentina exporta la salmuera y sales extraídas de sus salares sin tratamiento y se importan productos especiales de litio y baterías. Para revertir esta situación se inició este programa cuyo objetivo es el desarrollo de la producción local de baterías de litio y más adelante poder exportarlas ya ensambladas, y en el cual participan varias universidades locales.

¹⁷ El acuerdo prevé relevar programas y todo tipo de líneas de trabajo de tecnología aplicada referidas al aprovechamiento del litio, llevada adelante por las universidades para efectuar relevamientos de mercado sobre el consumo de este mineral en la industria, haciendo un plan estratégico tendiente a la investigación de técnicas para agregarle valor industrial y conformar equipos de trabajos de ambas organizaciones para llevar adelante los objetivos de crear manufacturas de origen industrial.

ende, desde este punto de vista, no se sustentaría mantener el carácter estratégico del litio basado en la supuesta demanda por este uso.

5.4.4 Contribución al ingreso del país

Para apreciar la significancia del litio para la economía doméstica, cabe señalar que el valor de la producción total de litio en Chile desde sus inicios, en el año 1984 hasta el año 2012, se estima en US\$3.602 millones, equivalente a 89.887 toneladas de litio metálico, ambos a valores promedio de exportación 2012 (ver Anexo 3). Es decir, siendo una contribución interesante para el ingreso del país, no tiene la relevancia de otros recursos naturales de exportación, ni menos del cobre.

Además, por no ser concesible, la producción de litio no está afecta al impuesto específico a la minería. Sin embargo, en el supuesto que si lo estuviera, se estima una baja participación en la recaudación de dicho gravamen, aun cuando se aumente el volumen de la producción nacional y Chile mantuviera su liderazgo mundial.

5.5 Proposición

En conclusión, desde el punto de vista de mercado, en los pasados 30 años Chile no ha tenido una estrategia definida en términos de su uso en el ámbito de la fusión nuclear, que inicialmente ha sido el argumento por declararlo de interés nuclear y, por ende, estratégico. En términos económicos, en tanto, si bien el mercado del litio es muy pequeño en comparación con el del cobre, por ejemplo, se observa muy dinámico a nivel mundial debido a las perspectivas en relación a las baterías recargables para vehículos eléctricos. Esto se manifiesta en la alta proyección de capacidad instalada por parte de países competidores, en las asociaciones que actualmente se realizan entre compañías de diversas líneas de negocio, además de convenios de transferencia tecnológica, entre otros. Por ello es deseable actuar en concordancia con este dinamismo, para que Chile recupere la posición de líder en producción que mantuvo por tantos años en el mercado.

Así, sobre la base de los antecedentes de mercado, actualmente disponibles y expuestos en este informe, se estima que ya no hay mayor fundamento técnico para mantener el atributo de estratégico específicamente para el litio y su condición de no concesible.

Ello es compatible con la mantención del litio como sustancia de interés nuclear, en las mismas condiciones del uranio y el torio (ver Anexo 5), es decir, como sustancia concesible y reservándose el Estado la primera opción de compra, si así lo aconseja el interés nacional.

De este modo, la concesibilidad permitiría a Chile desplegar su capacidad productiva en la industria del litio, en las mismas condiciones que el resto de las sustancias mineras metálicas y no metálicas, sin perjuicio que el Estado podría explotar los vastos recursos de litio que ya dispone, si así fuera conveniente y en las modalidades que aconseje el interés para el país.

6. Referencias

- Bradshaw, A.M.; Hamacher, T. y Fischer, U. Is nuclear fusion a sustainable energy form? *Fusion Engineering and Design* 86 (9-11): 2770-2773.
- Cisternas, L.; Montenegro, M. y Urquieta, C. (1999). *Tecnología de los Procesos Químicos; una revisión a los principios, mercado y medio ambiente a través de la industria química chilena*. Antofagasta, Chile: Universidad de Antofagasta.
- Cochilco (2009). *Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Litio*. Santiago, Chile: Comisión Chilena del Cobre. Recuperado en febrero de 2012 desde http://www.cochilco.cl/productos/pdf/2009/informe_minerales_estrategicos_litio.pdf.
- DNPM (varios años). *Sumário Mineral*. Brasília, Brasil: Departamento Nacional de Produção Mineral. Recuperado en mayo de 2013 desde <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>.
- Evans, R.K. (2008). *An abundance of Lithium*. Recuperado en abril de 2012 desde <http://lithiumabundance.blogspot.com>.
- Evans, R.K. (2012). *An overabundance of lithium? Potential supply and demand estimates to 2020*. Ponencia presentada en 4th Lithium Supply & Markets Conference, 23 a 25 de enero de 2012, Buenos Aires, Argentina.
- Garrett, D.E. (2004). *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride*. Londres, Gran Bretaña: Elsevier.
- GEM (2012). *Lithium Market Report: Outlook 2012-2020 and long run forecast*. Santiago, Chile: Gestión y Economía Minera Ltda.
- Gruber, P.W.; Medina, P.A.; Keoleian, G.A.; Kesler, S.E.; Everson, M.P. y Wallington, T.J. (2011). *Global lithium availability: a constrain for electric vehicles?* *Journal of Industrial Ecology* 15(5): 760-775.
- Hamacher, T. & Bradshaw, A.M. (2001) *Fusion as a future power source: recent achievements and prospects*. Publicado en 18th World energy Congress, 21-25 de octubre de 2001, Buenos Aires, Argentina.
- IGME (2010). *Panorama Minero: Litio 2009*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España. Recuperado en junio de 2012 desde <http://www.igme.es/internet/PanoramaMinero/PMLin.htm>.
- ITER (2013). *ITER & beyond*. Recuperado en abril de 2013 desde <http://www.iter.org/proj/iterandbeyond>.
- Lagos, G.E. (1986). *El Litio: un nuevo recurso para Chile*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Lagos, G. (2012). *El desarrollo del litio en Chile: 1984-2012*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Mohr, S.H.; Mudd, G.M. y Giurco, D. (2012). *Lithium Resources and Production: Critical Assessment and Global Projections*. *Minerals* 2012 (2): 65-84.
- Riesacher, F.; Alonso, H. y Salazar, C. (1999). *Geoquímica de aguas en cuencas cerradas: I, II, y III Regiones – Chile*. Santiago, Chile: Convenio de cooperación Dirección General de Aguas, Universidad Católica del Norte e Institut de Recherche pour lo Développement.

- Roskill (2013). Lithium: Market Outlook to 2017. Londres, Gran Bretaña: Roskill Information Services Ltd.
- SERNAGEOMIN (varios años). Anuario de la Minería de Chile 2002-2013. Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería. Recuperado en mayo de 2013 desde <http://www.sernageomin.cl/sminera-anuario.php>.
- Talison (2012). Investors presentation May 2012. Recuperado en mayo de 2012 desde www.talisonlithium.com/docs/pdf-presentations/talison-lithium-investor-presentation_may-2012.pptx.
- USGS (varios años). USGS Minerals Commodity Summary: Lithium. Recuperado en mayo de 2013 desde Mineral Commodity Summaries, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium>.
- World Nuclear Association (2012). Nuclear Fusion Power. Recuperado en abril de 2013 desde [http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Fusion-Power/#.Ufq\\$5spZ7IU](http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Fusion-Power/#.Ufq$5spZ7IU).
- Yaksic, A. y Tilton, J.E. (2009). Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: The case of lithium. Resources Policy 34: 185-194.

Abreviaciones

t	Tonelada métrica
Mt	Millones de toneladas métricas
tpa	Toneladas métricas por año
mg/l	Miligramos por litro
US\$	Dólar estadounidense
MMUS\$	Millones de dólares estadounidenses
US\$/t	Dólar estadounidense por tonelada métrica
km ²	Kilómetro cuadrado
msnm	Metros sobre el nivel del mar
LCE	Carbonato de litio equivalente
s/a	Sin antecedentes

Anexos

Anexo 1: Proyectos de litio

Anexo 2: Asociaciones estratégicas de las compañías mineras de litio

Anexo 3: Valorización de la producción chilena de litio

Anexo 4: Extracto del Código de Minería de artículos referentes al litio

Anexo 5: Extracto del Código de Minería de artículos referentes al torio y uranio

Anexo 1: Proyectos de litio

País	Proyecto	Compañía	Producto	Etapas	Inicio	Cap. LCE (t)	Recursos Li met (t)	Inversión (MMUS\$)	Costo de producción (US\$/t)
Pegmatitas									
Australia	Mt. Marion	Reed Resources	Concentrado de espodumeno	Prefactibilidad	<2017	22.000	16.600	--	--
	Pilgangoora	Altura Mining	Concentrado de espodumeno	Prefactibilidad	<2017	22.000	100.500	96	--
Austria	Wolfsberg Lithium	Global Strategic Minerals	Concentrado de espodumeno	Factibilidad	2016	3.700	48.000	--	--
Canada	Authier	Glen Eagle Resources	Concentrado de espodumeno	Prefactibilidad	--	15.000	18.600	--	--
	Moblan	Perilya Limited	Concentrado de espodumeno	Prefactibilidad	--	--	77.400	--	--
	Quebec Lithium	Canada Lithium	Carbonato e hidróxido	Puesta en marcha	Q4 2013	20.000	183.500	229	3.101
	Rose Tantalum	Critical Elements	Carbonato de litio	Factibilidad	2016	26.600	120.760	270	2.650
	Seperation Rapid	Avalon Rare Metals	Concentrado de petalita	Prefactibilidad	--	--	55.400	--	--
	Whabouchi	NemaskaLithium	Carbonato e hidróxido	Construcción	Q3 2015	38.000	179.600	450	3.400
Finlandia	Länttä	Keliber Nordic Mining	Concentrado de espodumeno	Prefactibilidad	<2017	4.000	8.500	--	--
China	Cuola	Tianqi Lithium	Concentrado de espodumeno	Construcción	2014	15.000	110.000	--	--
	Taiyanghe	Fujian Huamin	Concentrado de espodumeno	Prefactibilidad	<2017	7.500	--	--	--
	Xiajika exp.	Rongda	Concentrado de espodumeno	Factibilidad	<2017	15.000	--	--	--
Serbia	Jadar	Rio Tinto Minerals	Concentrado de jadarita	Exploración	--	27.000	1.048.000	--	--
Planta									
Australia	ConversionPlant	Talison Tianqi	Carbonato de litio	Prefactibilidad	2015	20.000	--	--	--
Chile	Planta La Negra	SCL (Rockwood)	Carbonato de litio	Construcción	2014	20.000	--	140	--
Salares									
Argentina	Cauchari-Olaroz 1	Lithium Americas	Carbonato de litio	Factibilidad	2015	20.000	2.226.000	269	1.332
	Cauchari-Olaroz 2	Lithium Americas	Carbonato de litio	Prefactibilidad	2018	20.000	--	--	--
	Sal de Vida	Galaxy Resources	Carbonato de litio	Factibilidad	2015	25.000	762.000	369	2.200

(Continuación Anexo 1)

País	Proyecto	Compañía	Producto	Etap	Inicio	Cap. LCE (t)	Recursos Li met (t)	Inversión (MMUS\$)	Costo de producción (US\$/t)
Argentina	Diablillos	Rodinia Lithium	Carbonato de litio	Prefactibilidad	2015	15.000	530.000	144	1.519
	Hombre Muerto exp.	FMC Lithium	Carbonato de litio	Construcción	2014	6.000	850.000	--	--
	Olaroz	Orocobre	Carbonato de litio	Construcción	2014	17.500	1.210.000	207-229	1.230-1.512
	Rincón	ADY Resources (Enirgi Group)	Carbonato de litio	Construcción	2016	10.000	1.380.000	--	--
Bolivia	Uyuni	Comibol	Carbonato de litio	s/a	2014	30.000	8.900.000	120	--
Chile	Atacama exp.	SQM	Carbonato de litio	Stand by ¹⁸	<2017	12.000	6.300.000	--	--
	Maricunga	Li3 Energy	Carbonato de litio	Prefactibilidad	--	15.000	108.000 ¹⁹	--	--
	Maricunga	Simbalik	Carbonato de litio	s/a	2016	35.000 ²⁰	1.740.000	--	--
China	Diangxióngcuo	Tibet Sunrise Mining Dev.	Carbonato de litio	Prefactibilidad	<2017	5.000	167.000	--	--
	YiLiping	China MinMetals Non-Ferrous	Carbonato de litio	Factibilidad	2015	10.000	1.780.000 ²¹	539	--
EEUU	Silver Peak exp.	Rockwood	Carbonato de litio	Factibilidad	2015	5.000	300.000	30	--
Otros									
EEUU	Magnolia (Campo de petróleo)	Albemarle	Carbonato de litio	Factibilidad	2015/2016	20.000	750.000	--	--
	Salton Sea (Geotermal)	Simbol Mining	Carbonato de litio	Construcción	2014	16.000	316.000	--	--
	Kings Valley (Hectorita)	Western Lithium	Carbonato de litio	Factibilidad	2015	26.000	570.000	--	3.011
México	Sonora – Ventana (Hectorita)	Bacanora Minerals	Carbonato de litio	Exploración	--	35.000	175.000	114	1.958

Fuente: Cochilco en base a datos de las empresas mineras y Roskill (2013).

¹⁸ Expansión congelada a la espera de la evolución en la demanda debido a la entrada de nueva oferta por parte de competidores.

¹⁹ Recurso estimado para concesiones Litio 1-6 de acuerdo al informe técnico de Li3 (2012).

²⁰ Simbalik no ejerció oportunamente la opción de compra que tenía sobre las pertenencias Cocina 19 a 27, y estas fueron adquiridas, a su vez, por Li3 Energy. Ello pone en duda la capacidad productiva a largo plazo que fue estimada inicialmente en 35.000 tpa.

²¹ Recurso para el total del Salar de Maricunga proyectado por Simbalik (Roskill, 2013).

Anexo 2: Asociaciones estratégicas de las compañías mineras de litio

Compañía	Origen	Mina/yacimiento	País	Socio / Dueño (tipo de acuerdo/% propiedad)	Origen	Down-stream ⁽¹⁾	Productos compañía minera y socios/dueños ⁽²⁾
ADY Resources	Australia	Salar del Rincón	Argentina	Energi Group (100%)	Canadá	no	-Carbonato (TG y BG)
Canada Lithium	Canadá	Quebec Lithium	Canadá	Tewoo (off-take ⁽³⁾) Marubeni (off-take ⁽³⁾)	China Japón	no	-Carbonato BG
Comibol /GNRE	Bolivia	Salar de Uyuni	Bolivia	Consorcio de Kores y Posco	Corea del Sur	no	-Carbonato
FMC Lithium	EEUU	Salar del Hombre Muerto	Argentina	-	-	sí	-Carbonato, cloruro y derivados de litio
Galaxy Resources	Australia	Mt. Cattlin	Australia	Talison (abastecimiento de planta Jiangsu) ⁽⁴⁾ Mitsubishi (off-take ⁽³⁾)	Australia, China Japón	sí	-Concentrado de espodumeno -Carbonato TG y BG (Tianqui); -Productos de litio, baterías y vehículos (Mitsubishi)
		Sal de vida	Argentina	Korean Consortium (30%; KORES, LG International, GS Caltex)	Corea del Sur	sí	-Carbonato (Galaxy-Jiangsu); -Baterías (consorcio coreano)
GanZi Rongda Lithium	China	Jaijika	China	Luxiang Co. (51%) Youngy Group (49%)	China	no	-Concentrado de espodumeno, carbonato BG
Jiangxi Western Resources	China	Heyuan (Ningdu)	China	Sichuan Western Resources (100%)	China	no	-Concentrado y carbonato de litio
Li3 Energy	EEUU, Chile	Salar de Maricunga	Chile	Posco (25,4%)	Corea del Sur	no	-Carbonato
Lithium Americas	Canadá	Cauchari-Olaroz	Argentina	Mitsubishi (4%) Magna Int. (13%)	Japón Canadá	sí	-Carbonato; -Productos de litio, baterías y vehículos (Mitsubishi); -Componentes de vehículos (Magna)
Nemaska Lithium	Canadá	Whabouchi	Canadá	Sichuan Tianqui Lithium Ind. (19,9%) Phostech Lithium / Clariant (agreement)	China Suiza	sí	-Carbonato, hidróxido, cloruro y otros productos de litio; -Material de cátodos/baterías
Orocobre	Australia	Salar de Olaroz	Argentina	Toyota Tsoshu (25% en Olaroz)	Japón	sí	-Carbonato BG; -Productos de litio, componentes de vehículos y vehículos (Subsidiarias de Toyota)
Qinghai CITIC	China	Salar de Xitai (West Tajinaier)	China	CiticGroup (100%)	China	no	-Carbonato BG

(Continuación Anexo 2)

Compañía	Origen	Mina/yacimiento	País	Socio / Dueño (tipo de acuerdo/% propiedad)	Origen	Down-stream ⁽¹⁾	Productos compañía minera y socios/dueños ⁽²⁾
Qinghai Lanke Lithium Industry	China	Salar de Chaerhan/Germu	China	Qinghai Salt Lake Industry (100%) Quinghai Fozhao Lithium Energy Development (merger)	China	no	-Carbonato BG
Qinghai Salt Lake Industry	China	Salar de Dongtai (East Taijinaier)	China	Western Mining Group (74%) Pulead Technology Ind. (agreement)	China	sí	-Sales de litio; -Material de baterías y baterías (Pulead)
Rockwood Lithium	EEUU	SilverPeak	EEUU	-	-	sí	-Carbonato, hidróxido, cloruro y otros productos de litio
RodiniaLithium	Argentina	Salar de Diablillos	Argentina	Shanshan Enterprise (7,6%)	China	sí	-Carbonato; -Materiales para baterías de litio (Shanshan)
Sichuan Hidili Dexin Mineral Ind.	China	Lijagou	China	Hidili Industry International Dev. (100%)	China	no	-Concentrado de espodumeno
Sociedad Chilena del Litio	Chile	Salar de Atacama	Chile	Rockwood Lithium (100%)	EEUU	sí	-Carbonato y cloruro -Otros productos de litio (Rockwood)
SQM	Chile	Salar de Atacama	Chile	-	-	no	-Carbonato e hidróxido de litio (TG y BG)
Talison Lithium	Australia	Greenbushes	Australia	Sichuan Tianqi Lithium Ind. (100%) ⁽⁵⁾ Galaxy Resources (abastecimiento de planta Jiangsu) ⁽⁴⁾	China Australia	sí	-Carbonato, hidróxido, cloruro y otros productos de litio (Tianqi y Galaxy)
Tibet Lithium New Technology Dev.	China	Salar de Zhabuye, Tibet	China	Tibet Minerals Development (50,72%) BYD (18%)	China	sí	-Carbonato e hidróxido de litio -Baterías y vehículos eléctricos (BYD)
Tibet Sunrise Mining Dev.	China	Salar de Diangxióngcuo	China	Sterling Group Ventures (agreement)	China	no	-Carbonato
Yichun Huili	China	Yichun Huili	China	Jiangxi Tungsten - China MinMetals (100%)	China	no	-Concentrado de lepidolita

Nota:

⁽¹⁾ Otros productos de litio que los básicos (carbonato, hidróxido y cloruro).

⁽²⁾ TG = Technical-grade; BG = Battery-grade

⁽³⁾ **Off-take agreement:** contrato de "toma o paga" que garantiza la compra de una cantidad definida de producción futura.

⁽⁴⁾ Talison abastece la planta de conversión Jiangsu de Galaxy con concentrado de espodumeno proveniente de su mina Greenbushes.

⁽⁵⁾ Tianqi firmó un acuerdo con Rockwood Lithium para que este accediera al 49% de las acciones de Talison Lithium. Se espera que se finalice la transacción durante el primer trimestre de 2014 luego de las aprobaciones regulares.

Fuente: Cochilco en base a datos de las empresas mineras y Roskill (2013).

Anexo 3: Valorización de la producción chilena de litio 1984-2012

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Producto(t)																
CARBONATO DE LITIO	2.110	4.508	4.458	6.139	7.332	7.508	9.082	8.575	10.823	10.369	10.439	12.943	14.180	24.246	28.313	30.231
HIDRÓXIDO DE LITIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CLORURO DE LITIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	807	161
Li Eq (t)⁽¹⁾																
CARBONATO DE LITIO	218,7	467,3	462,1	636,4	760,0	778,3	941,4	888,9	1.121,9	1.074,8	1.082,1	1.341,7	1.469,9	2.513,3	2.934,9	3.133,7
HIDRÓXIDO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CLORURO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	132,1	26,4
Total Li eq	218,7	467,3	462,1	636,4	760,0	778,3	941,4	888,9	1.121,9	1.074,8	1.082,1	1.341,7	1.469,9	2.513,3	3.067,0	3.160,1
Valor de la producción a precio unitario de exportación FOB de 2012 (miles US\$)⁽²⁾																
CARBONATO DE LITIO	9.324,1	19.920,9	19.700,0	27.128,3	32.400,2	33.177,9	40.133,5	37.893,0	47.827,0	45.820,7	46.130,1	57.195,3	62.661,6	107.143,4	125.115,5	133.591,2
HIDRÓXIDO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CLORURO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.678,4	534,4
Total	9.324,1	19.920,9	19.700,0	27.128,3	32.400,2	33.177,9	40.133,5	37.893,0	47.827,0	45.820,7	46.130,1	57.195,3	62.661,6	107.143,4	127.793,9	134.125,5
<i>Nota:</i>																
<i>(1) Li Eq corresponde al litio metálico contenido en cada una de las sustancias y se realizó aplicando el factor de conversión correspondiente.</i>																
<i>(2) La valorización de cada una de las sustancias de litio se realiza aplicándoles a las respectivas cantidades producidas cada año su valor unitario promedio de exportación FOB obtenido el año 2012.</i>																

Fuente: Cochilco, Datos de producción de Semageomin

(Continuación Tabla Anexo 3)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	1984 - 2012	2003 - 2012
Producto (t)															
CARBONATO DE LITIO	35.869	31.320	35.242	41.667	43.971	43.595	50.035	55.452	52.519	25.154	44.025	59.933	62.002	772.040,0	478.353,0
HIDRÓXIDO DE LITIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.987	5.101	5.800	5.447	19.335,0	19.335,0
CLORURO DE LITIO	0	0	0	0	494	681	1.166	4.185	4.362	2.397	3.725	3.864	4.145	25.987,0	25.019,0
Li Eq (t)⁽¹⁾															
CARBONATO DE LITIO	3.718,2	3.246,6	3.653,2	4.319,2	4.558,0	4.519,0	5.186,6	5.748,1	5.444,1	2.607,4	4.563,6	6.212,6	6.427,1	80.029,2	49.585,8
HIDRÓXIDO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	865,5	1.478,1	1.680,7	1.578,4	5.602,7	5.602,7
CLORURO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	80,9	111,5	190,9	685,2	714,1	392,4	609,8	632,6	678,6	4.254,5	4.096,1
Total Li eq	3.718,2	3.246,6	3.653,2	4.319,2	4.638,9	4.630,5	5.377,5	6.433,3	6.158,2	3.865,4	6.651,6	8.525,9	8.684,1	89.886,5	59.284,6
Valor de la producción a precio unitario de exportación FOB de 2012 (miles US\$)⁽²⁾															
CARBONATO DE LITIO	158.505,5	138.403,5	155.734,8	184.127,0	194.308,4	192.646,8	221.105,3	245.043,1	232.082,1	111.155,8	194.547,0	264.844,6	273.987,6	3.411.654,1	2.113.847,7
HIDRÓXIDO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16.035,3	27.384,0	31.136,5	29.241,5	103.797,2	103.797,2
CLORURO DE LITIO	0,0	0,0	0,0	0,0	1.639,6	2.260,2	3.869,9	13.889,9	14.477,3	7.955,6	12.363,2	12.824,5	13.757,1	86.250,0	83.037,2
Total MUS\$	158.505,5	138.403,5	155.734,8	184.127,0	195.947,9	194.907,0	224.975,2	258.932,9	246.559,4	135.146,7	234.294,2	308.805,6	316.986,2	3.601.701,3	2.300.682,1

Nota:

⁽¹⁾ Li Eq corresponde al litio metálico contenido en cada una de las sustancias y se realizó aplicando el factor de conversión correspondiente.

⁽²⁾ La valorización de cada una de las sustancias de litio se realiza aplicándoles a las respectivas cantidades producidas cada año su valor unitario promedio de exportación FOB obtenido el año 2012.

Fuente: Cochilco, Datos de producción de Semageomin

Anexo 4: Extracto del Código de Minería de artículos referentes al litio

Artículo 7°.- No son susceptibles de concesión minera los hidrocarburos líquidos o gaseosos, **el litio**, los yacimientos de cualquier especie existentes en las aguas marítimas sometidas a la jurisdicción nacional ni los yacimientos de cualquier especie situados, en todo o en parte, en zonas que, conforme a la ley, se determinen como de importancia para la seguridad nacional con efectos mineros, sin perjuicio de las concesiones mineras válidamente constituidas con anterioridad a la correspondiente declaración de no concesibilidad o de importancia para la seguridad nacional.

Artículo 8°.- La exploración o la explotación de las sustancias que, conforme al artículo anterior, no son susceptibles de concesión minera, podrán ejecutarse directamente por el Estado o por sus empresas, o por medio de concesiones administrativas o de contratos especiales de operación, con los requisitos y bajo las condiciones que el Presidente de la República fije, para cada caso, por decreto supremo.

Artículo 9°.- Podrá constituirse concesión minera sobre las sustancias concesibles de un yacimiento, aunque éste contenga también sustancias no concesibles.

Se deberá comunicar al Estado la existencia de las sustancias no concesibles que se encuentren con ocasión de la exploración, de la explotación o del beneficio de las sustancias procedentes de pertenencias. El Estado podrá exigir a los productores que separen, de los productos mineros, la parte de las sustancias no concesibles que tengan presencia significativa en el producto, es decir, que sean susceptibles de ser reducidas o separadas desde un punto de vista técnico y económico, para entregársela o para enajenarlas por cuenta de él. Mientras el Estado no formule esa exigencia al productor, se presumirá de derecho que las sustancias no concesibles contenidas en los productos mineros respectivos no tienen presencia significativa en ellos.

El Estado deberá reembolsar, antes de la entrega, los gastos en que haya incurrido el productor para efectuar la reducción y entrega y, además, deberá costear las modificaciones y las obras complementarias que fuere necesario realizar para operar la reducción o separación en el país, caso en el cual también pagará las indemnizaciones de los perjuicios que se ocasionen con motivo de la realización de esas modificaciones y obras complementarias. Estas últimas obras serán de propiedad estatal.

El incumplimiento de las obligaciones que este artículo impone a los productores les hará incurrir en una multa, que aplicará el juez sujeta, en lo demás, a las normas del artículo 11.

En todo caso, si se enajenan sustancias no concesibles cuya entrega haya exigido el Estado conforme al inciso segundo, el monto de la multa será la cuarta parte del valor de las sustancias enajenadas, sin perjuicio de la obligación de entregarle su precio sin deducción alguna.

Las referencias al Estado de este artículo se entenderán hechas a la Comisión Chilena de Energía Nuclear, tratándose del litio; y al Ministerio de Minería, tratándose de hidrocarburos líquidos o gaseosos.

Todas las cuestiones que suscite la aplicación de este artículo serán resueltas por el juez respectivo.

Anexo 5: Extracto del Código de Minería de artículos referentes al torio y uranio

Artículo 10.- El Estado tiene, al precio y modalidades habituales del mercado, el derecho de primera opción de compra de los productos mineros originados en explotaciones mineras desarrolladas en el país en los que **el torio o el uranio** tengan presencia significativa.

Si estos productos se obtienen esporádicamente, su productor deberá comunicar su obtención a la Comisión Chilena de Energía Nuclear a fin de que ésta pueda ejercer aquel derecho por cuenta del Estado, y le señalará la cantidad, calidad y demás características del producto, su precio de mercado y la forma, oportunidad y lugar de su entrega. Esta comunicación constituirá una oferta de venta con plazo de espera y obligará a no disponer del producto durante los tres meses siguientes a la fecha de su recepción.

La Comisión podrá aceptar o rechazar libremente la oferta, en todo o parte. Si la aceptare, indicará un plazo, no mayor de dos meses contado desde la respectiva entrega de productos, en el cual se pagará su precio.

La oferta caducará si no es aceptada dentro de los tres meses de espera. Con todo, la oferta no caducará si, dentro de este plazo, la Comisión pide al juez que, con citación del productor, designe un experto para que éste, como tercero, establezca el precio y las modalidades de la compraventa. La Comisión dispondrá de un mes, desde que el experto le comunique su resolución, para aceptar, en todo o parte, la oferta en los términos establecidos por el experto. Si no lo hace en ese plazo, caducará la oferta.

Si estos productos se obtienen en forma habitual, su productor, a más tardar en septiembre de cada año, comunicará a la Comisión sus programas mensuales de producción estimados para el año calendario siguiente, a fin de que ésta pueda ejercer, por cuenta del Estado, el derecho de primera opción de compra. El productor también dará cuenta a la Comisión, de inmediato, de todas las variaciones que experimenten esos programas. La comunicación, que deberá contener todas las menciones indicadas en el inciso segundo, constituirá una oferta de venta con plazo de espera y obligará a no disponer del producto de cada mes hasta el último día del mes de su obtención.

La Comisión podrá aceptar o rechazar libremente la oferta, en todo o parte. Si la aceptare, el precio de cada entrega se pagará dentro de los dos meses siguientes a ella.

La oferta caducará si no es aceptada dentro del plazo establecido en el inciso sexto.

En lo demás, se aplicarán las normas del inciso cuarto.

**Documento elaborado en la
Dirección de Estudios por:**

Stefanie Schwarz

Analista Minero

Vicente Pérez V.

Analista Minero

Directora de Estudios:

María Cristina Betancour M.

Diciembre de 2013