

# COCHILCO

COMISIÓN CHILENA DEL COBRE

Dirección de Estudios y Políticas Públicas

## **Antecedentes para una Política Pública en Minerales Estratégicos: Litio (DE/12/09)**

Registro de Propiedad Intelectual  
© N° 184.825

## ***Resumen Ejecutivo***

El litio se ha convertido en un mineral de enorme interés a nivel mundial. El uso extensivo de baterías recargables para un conjunto de aplicaciones ha presionado para un rápido crecimiento de la demanda por carbonato de litio.

Chile, por su parte, cuenta con las mayores reservas a nivel mundial. Actualmente, lidera la producción de carbonato de litio, con el 58% de participación de mercado.

En estas condiciones, y previendo un incremento futuro cada vez más acelerado de la demanda por el litio, se requiere un activo rol de las políticas públicas que permitan al país, aprovechar las ventajas comparativas con las que cuenta para la explotación y desarrollo de la minería del litio.

En este sentido, la actualización tanto de la información geológica de los salares del país, como de las pertenencias existentes en los mismos, son requisitos básicos para que el Estado pueda tomar decisiones con respecto al desarrollo futuro de la minería del litio, en el entendido además, que la actual legislación señala al litio no susceptible de concesión y de estar reservado a favor del Estado.

Por otra parte, la zona norte del país hace parte de lo que internacionalmente se ha llamado "el triángulo del litio", por concentrar cerca del 85% de las reservas conocidas de este mineral. Esta condición geográfica puede ser altamente aprovechada en la perspectiva del desarrollo de un *cluster* del litio en la zona norte del país, ya sea a nivel nacional, como también desde una perspectiva de integración económica con los países vecinos.

## **INDICE**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Resumen Ejecutivo .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>I. Introducción.....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>II. Litio: mineral del futuro .....</b>                             | <b>6</b>  |
| II.1 El Litio y los usos actuales.....                                 | 6         |
| II.2 El Litio y sus potenciales usos futuros .....                     | 8         |
| <b>III. La industria y el mercado actual del Litio .....</b>           | <b>10</b> |
| III.1 Recursos y producción mundial de Litio .....                     | 10        |
| III.2 Precios actuales y Demanda Futura.....                           | 13        |
| <b>IV. El Litio y la política minera actual .....</b>                  | <b>18</b> |
| IV.1 Marcos legales y regulatorios de la minería del Litio .....       | 18        |
| IV.2 Desarrollo de la minería del Litio en Chile.....                  | 19        |
| IV.3 Royalties y los aportes económicos al país .....                  | 21        |
| <b>V. Desafíos y recomendaciones futuras de política pública .....</b> | <b>23</b> |
| <b>Referencias Bibliográficas.....</b>                                 | <b>30</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>  | <b>31</b> |
| ANEXO 1: Las fuentes de Litio. ....                                    | 31        |
| ANEXO 2: El proceso de producción del Litio. ....                      | 33        |
| ANEXO 3: Recursos y producción en Salmueras.....                       | 35        |
| ANEXO 4: Recursos y producción en la Minería. ....                     | 44        |

## I. Introducción

El uso cada vez más extendido de las baterías recargables en la vida moderna ha presionado para un rápido crecimiento de la demanda por uno de sus principales componentes: el Litio.

El "boom tecnológico" mediante el desarrollo de las baterías de iones de litio (Li-Ion<sup>1</sup>), ha significado que el litio se convierta en un insumo prácticamente "insustituible" de la vida moderna. Cada uno de los miles de millones de celulares, computadores personales, herramientas eléctricas, agendas electrónicas o reproductores MP3, entre otros, que se construyen año a año, necesitan para su funcionamiento el litio.

Pero han sido las proyecciones de la demanda a futuro por vehículos eléctricos e híbridos eléctricos, lo que ha despertado el interés de los mercados internacionales en este mineral.

La meta de disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub><sup>2</sup>, para hacer frente a los efectos del calentamiento global, en particular las asumidas por los países desarrollados, hace prever el necesario aumento de otras fuentes, que reemplacen al petróleo, como combustible principal de los vehículos. En este sentido, el desarrollo de modelos económicamente factibles de vehículos eléctricos e híbridos-eléctricos, ha ido avanzando rápidamente. Se estima que entre el año 2009 y 2012 aproximadamente 10 fabricantes de vehículos presentarán modelos eléctricos e híbridos-eléctricos utilizando baterías de litio. Y para el 2012, más de 2 millones de vehículos de este tipo estarán ya disponibles<sup>3</sup>.

Lo anterior, sumado al desarrollo propio que han tenido otras aplicaciones del litio (aire acondicionado, grasas lubricantes, vidrios, cerámicas, farmacéuticos), ha disparado la demanda mundial por este mineral, mostrando un crecimiento promedio anual entre 7% y 8% en los últimos 10 años, lo que ha llevado a que el precio del carbonato de litio aumente desde un promedio de US\$1.760 por tonelada en 1999 a los US\$ 6 mil en el 2008<sup>4</sup>.

En este contexto de expansión de la demanda por litio, Chile juega un papel relevante. En el Salar de Atacama se encuentran cerca del 40% de las reservas mundiales de litio en salmueras. Más aún, esta participación aumenta a un 70% si sólo se consideran las operaciones que actualmente están en funcionamiento.

En Chile, solo dos compañías producen litio: SQM (ex Soquimich) y SCL (Chemetall). Ambas representaron aproximadamente el 58% de la producción mundial de Carbonato de litio en el 2008. Solo SQM posee el 37% de este mercado mundial.

---

<sup>1</sup> La batería de iones de litio, también denominada batería Li-Ion, es un dispositivo diseñado para almacenamiento de energía eléctrica que emplea como electrolito, una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. Entre sus principales características se encuentra su ligereza de sus componentes, su elevada capacidad energética y resistencia a la descarga, la ausencia de efecto memoria o su capacidad para operar con un elevado número de ciclos de regeneración.

<sup>2</sup> Ver Convención sobre el cambio Climático. <http://unfccc.int/2860.php>.

<sup>3</sup> Esta información se detalla en la sección "Precios actuales y la demanda futura".

<sup>4</sup> Idem. Cita anterior.

De este modo, las perspectivas pueden ser altamente favorables para Chile. Por un lado, la demanda por litio, se estima irá en aumento. Y por otro lado, el país no solo cuenta con las mayores reservas mundiales actualmente activas, sino además, aún hay un gran número de salares en los que se desconoce los contenidos de litio presentes, los cuáles pueden llegar a convertirse en fuentes económicamente factibles de litio en un futuro cercano.

El rol del Estado será crucial en este proceso. El litio, según la legislación vigente, es considerado un mineral estratégico, y toda explotación está bajo la supervisión del Estado<sup>5</sup>. En consecuencia, el desarrollo de la minería e industria del litio en el futuro, dependerá, en gran medida, del papel que el Estado decida jugar, ya sea mediante políticas de atracción de capitales, cambios a la legislación vigente o bien, jugando un rol aún más activo en la industria misma.

El objetivo de este trabajo es entregar los antecedentes más importantes que permitan comprender el interés creciente por el litio a nivel mundial, y en este contexto, se identifican algunos desafíos en el marco de un planteamiento estratégico y de políticas públicas con respecto al litio. Para ello, el documento se ordena de la siguiente manera: el capítulo dos del estudio se aboca a una descripción del uso presente y futuro del litio, y se describen los procesos de producción actuales para la producción del mineral. En una tercera parte, se aborda el estado actual de reservas y producción mundial, y la discusión internacional que los expertos de la industria han dado al respecto. En la cuarta parte de este documento, se abordan los marcos legales y regulatorios de la minería del litio, y el desarrollo que esta ha tenido en el país. En un quinto y último capítulo se exploran desafíos y recomendaciones futuras para la política pública.

---

<sup>5</sup> Detalles de los aspectos legales bajo los cuáles se desarrolla la minería del Litio en Chile, en el capítulo 3.

## II. Litio: mineral del futuro

### II.1 El Litio y los usos actuales

El Litio es uno de los minerales industriales más interesantes. Es un metal con propiedades especiales en la conducción del calor y la electricidad. Se encuentra presente en una amplia gama de minerales, aunque sólo algunas poseen valor económico (*espodumeno*, *lepidolita*, *petalita*, *amblygonita* y *eucryptita*). Al mismo tiempo, el Litio se encuentra en salmueras naturales, salmueras asociadas a pozos petrolíferos y a campos geotermales. También se encuentra presente en diversas arcillas (siendo la hectorita la más importante) e incluso en el agua de mar<sup>6</sup>.

Si bien las fuentes de litio pueden ser diversas, en la actualidad solo dos procesos de obtención son económicamente factibles: mediante salmueras y minerales. De ambas fuentes, la primera transformación para la obtención del litio, permite obtener carbonato de litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ )<sup>7</sup>. En una segunda fase de transformación se obtienen los compuestos de litio (hidróxido de litio -LiOH- y cloruro de litio -LiCl-). Una tercera fase de producción permite obtener litio metálico, butil litio y derivados orgánicos e inorgánicos (ver figura 1, "árbol de los compuestos de litio").

El consumo mundial de litio se ha incrementado de las 100 toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE)<sup>8</sup> por año en los inicios de 1900 a más de 90.000 toneladas por año un siglo después. En particular, ha sido durante los últimos diez años donde la industria mundial del litio experimentó un considerable cambio, duplicándose la demanda mundial de carbonato de litio (de las 45.000 TM)<sup>9</sup>.

En la actualidad, de la demanda mundial por litio y sus derivados, el 46% es por carbonato de litio, 21% por concentrado de litio, 13% por hidróxido de litio, 5% por butil litio, 4% por litio metálico, 3% por cloruro de Litio, y un 8% por otros derivados del litio (SQM, 2009b).

El litio se utiliza como materia prima en diversas industrias. Según SQM (2009), las "Baterías" representan la principal aplicación con el 27% de la demanda total; "Grasas lubricantes" representan el 12% de la demanda; "Fritas" el 9%<sup>10</sup>; "Vidrios y cerámicas" constituyen el 8%; "Aire acondicionado" el 5%; "Aluminio" el 4%; "Polímeros" el 4%; "Usos farmacéuticos" el 3%; y "Colada continua" con un 3%.

Es interesante destacar que junto a la duplicación en la demanda por productos de litio, también ha cambiado la composición en los usos de litio en la última década. En 1998, la demanda de litio para "Baterías" era de 7%; "Vidrios y cerámicas" constituían el mayor destino del litio con el 47%; "Grasas lubricantes" el 17%; "Aluminio" el 6%; y "Aire acondicionado" el 5% (González, A. 2000).

---

<sup>6</sup> Detalles sobre el Litio y su presencia en la naturaleza, en el anexo 1.

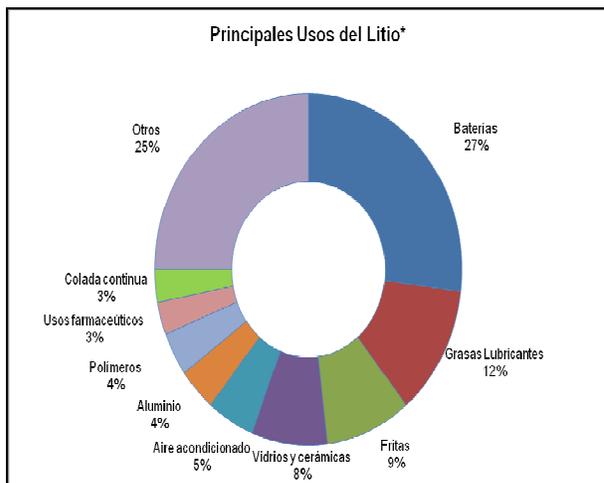
<sup>7</sup> Detalles del proceso de obtención del carbonato de litio desde salmueras y minerales, en el anexo 2.

<sup>8</sup> Se refiere a la medida de equivalencia entre litio metálico y carbonato de litio. La fórmula es: 1kT de Li = 5,28kT LCE.

<sup>9</sup> Para las referencia de consumo en 1900, ver Ebensperger, *et al.* (2005). Datos de 1997 y 2008, SQM (2009c).

<sup>10</sup> Las Fritas son vidrios de las composiciones más variadas y que contienen diversos óxidos, que luego de ser fundidos se vuelcan en agua para facilitar su disgregación. Luego, mediante una adecuada molienda se le lleva hasta polvo muy fino que posteriormente se aplica sobre la pieza metálica por distintos medios, llevándosele luego a un horno para su cocción. La Frita de Vidrio es un insumo requerido por aquellas industrias del sector metal-mecánico que orienta su producción a la manufactura de artículos enlozados.

**Gráfico 1. Principales usos del Litio.**



Fuente: SQM (2009)

\* Estimaciones al 31 de Diciembre del 2008.

Las baterías de Litio-ion se han convertido en la principal aplicación, ya que se utilizan intensivamente en variados dispositivos, como cámaras fotográficas, computadores portátiles, teléfonos celulares, agendas electrónicas, MP3, entre otros. Además, el uso de este tipo de baterías es altamente atractivo por su peso (livianas), su potencia y ciclo de vida, su rango de soporte en cuanto a temperaturas y en particular, porque carecen del "efecto memoria"<sup>11</sup>.

Durante los últimos años se ha estado desarrollando sostenidamente la industria de los autos híbridos. La producción de autos híbridos superó las 500.000 unidades el 2007 (SQM, 2008). Para el 2008, solo en EE.UU. se habían vendido sobre las 300.000 unidades. Si bien esto es aún una pequeña fracción de la producción mundial de automóviles, se espera un importante y rápido crecimiento de la industria<sup>12</sup>.

Los autos híbridos (HEV o PHEV<sup>13</sup>) requieren para funcionar de una batería para almacenar la energía generada por el motor a combustión interna y por diversos procesos que liberan energía. Los PHEV además, tienen la particularidad que se conectan a la red eléctrica para recargar la batería. Para lo anterior, requieren de baterías livianas, de poco volumen y con gran capacidad de almacenamiento. Las baterías que utilizan litio, como las "ion-litio", son las que mejor responden a estos requerimientos<sup>14</sup>.

El Litio se utiliza también intensivamente en la industria de los vidrios y las cerámicas. Es utilizado ya sea en la forma de concentrado o bien como carbonato de litio. El principal efecto es reducir la temperatura de fusión de los materiales lo que produce un importante ahorro de energía. Mejora también notablemente la calidad del producto, obteniendo un producto más estable y resistente al calor.

<sup>11</sup> El efecto memoria es un fenómeno que genera una pérdida en la capacidad de la batería, el que se genera por repetidas cargas y descargas de ésta sin que la batería se haya descargado completamente.

<sup>12</sup> El año 2007, la producción mundial de automóviles fue de 73 millones de unidades. La fabricación de autos híbridos significó ese año apenas un 0,7%.

<sup>13</sup> HEV: Vehículos Eléctricos Híbridos. PHEV: Vehículos Eléctricos Híbridos "Enchufables" (plug-in).

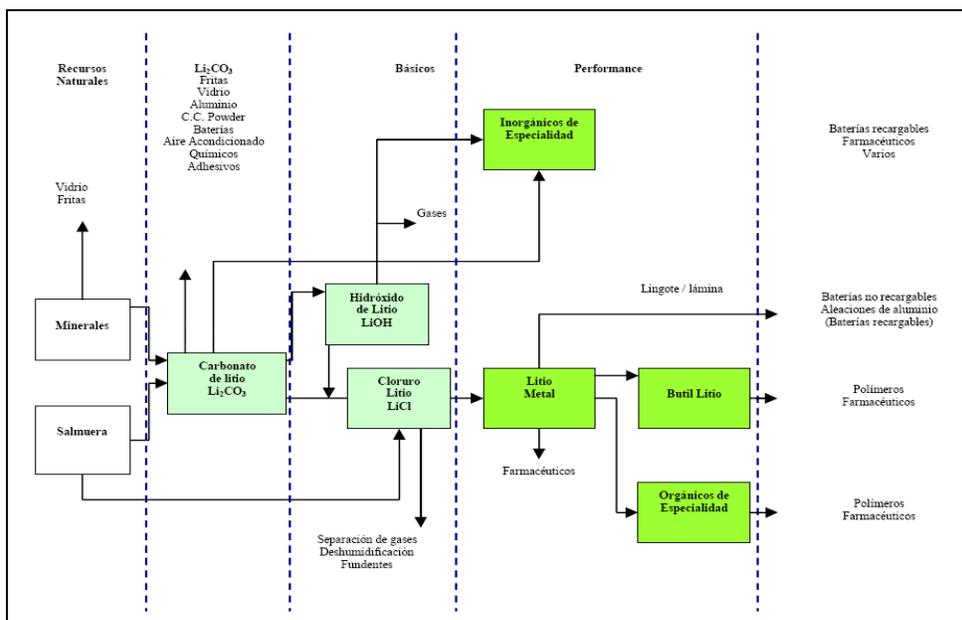
<sup>14</sup> Más detalle sobre costos y expectativas de desarrollo de las baterías de Litio-ion se analizan en el capítulo 3.

En los últimos años, un importante crecimiento ha experimentado la industria del acero en el uso del Litio, en particular en los procesos de polvo de colada continua donde el carbonato de litio ofrece una mayor velocidad y fluidez en el proceso de moldeado. Esta demanda creció entre 4 y 5% en el 2008.

Otro uso importante es en las grasas y lubricantes. En esta aplicación se utiliza el hidróxido de litio, consiguiendo que las grasas sean resistentes al agua y a la oxidación, permitiendo además, que tengan un buen desempeño en un amplio rango de temperaturas. El uso en grasa lubricante representa aproximadamente el 75% del mercado total de hidróxido de litio. De hecho, las estimaciones indican que más del 70% de las grasas lubricantes producidas en el mundo contienen litio. No obstante lo anterior, durante el 2008 el uso de hidróxido de litio en grasa lubricante no mostró ningún crecimiento como consecuencia de la desaceleración en la industria del automóvil que se inició durante el segundo semestre del año (SQM, 2009).

Una amplia variedad de derivados orgánicos e inorgánicos se producen a partir de carbonato de litio, hidróxido de litio y cloruro de litio. Estos derivados tienen diferentes aplicaciones, principalmente en las industrias química y farmacéutica. Con el tiempo, derivados de litio han mostrado tasas de crecimiento bastante estable, que se espera continuarán en el mediano y largo plazo, ya que, en general, estas aplicaciones son muy específicas y no sensibles a los ciclos económicos (SQM, 2009).

**Figura 1. El árbol de los compuestos del Litio.**



Fuente: Departamento de Ingeniería en Minas, Universidad de Chile (2003).

## II.2 El Litio y sus potenciales usos futuros

Es difícil cuantificar el nivel de avance en el desarrollo de nuevos productos y/o aplicaciones. El desarrollo tecnológico avanza a pasos veloces, y lo que hasta ayer podía

ser solo parte de estudios en laboratorios, hoy puede o bien ser una aplicación ya en marcha blanca, o bien, una idea ya desestimada.

La principal aplicación que se discute en la literatura especializada, con un potencial desarrollo a futuro, es el de la energía nuclear. También se ha señalado una potencial aplicación en la industria del cemento y en las aleaciones de aluminio.

#### *Energía nuclear*

El litio ha sido considerado como un material fundamental para el desarrollo de futuros reactores de fusión nuclear. Estos reactores utilizarían, principalmente, deuterio y tritio como combustibles; éste último, que es escaso en la naturaleza, se obtendría irradiando litio 6 con neutrones. El litio actuaría como productor de tritio, permitiendo además su empleo como un excelente refrigerante y medio de transporte calorífico, debido a su alta capacidad calórica, baja viscosidad, alta conductividad térmica y baja presión de vapor. Para su utilización, en estado líquido, existen algunas desventajas ya que en ese estado y con temperaturas elevadas es un material altamente corrosivo que, en determinadas condiciones puede reaccionar violentamente en contacto con agua o aire; por esta razón, actualmente su uso está restringido en la medida que aún no se conozcan adecuadamente los mecanismos de corrosión involucrados en la interacción litio-materiales estructurales.

En la actualidad existe un conjunto de dispositivos experimentales, de tamaño pequeño y mediano, operados por asociaciones de países y grupos de trabajo, explorando la posibilidad de controlar el proceso de fusión nuclear<sup>15</sup>. Estas investigaciones tienen como finalidad apoyar experimentos de mayor tamaño, donde el más importante es el ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), reactor que se construye en el sur de Francia, y el cual será el primero de una serie de reactores cuyo objetivo es el desarrollo de la fusión nuclear, como fuente futura de energía eléctrica<sup>16</sup>. Actualmente, se cree que el escenario más probable será la reacción nuclear de Deuterio y Tritio.

Se estima que el primer reactor de fusión experimental (ITER) estará en operación a partir del año 2017 aproximadamente. Este prototipo de 500 MW no será destinado a la producción de energía eléctrica sino a demostrar la viabilidad de la fusión con una amplificación de potencia mayor a 1. Se desmontará a partir del año 2026. El programa de desarrollo de la fusión nuclear contempla la construcción de un reactor nuclear demostrativo (DEMO) de 2.000 MW de potencia estará en operación alrededor del año 2040 y será el primer reactor en generar electricidad, proveyéndose de tritio a partir de generadores de litio<sup>17</sup>.

Para el 2050 debiese entrar en operación el primer reactor comercial de fusión (PROTO) de 1.500 MW de potencia. La producción a gran escala de energía eléctrica a partir de reactores de fusión nuclear estaría consolidada el año 2100.

Según los pronósticos de uso y consumo de litio para los reactores de fusión, sería necesario entre 6 y 9 toneladas anuales de litio para generar 1,5 GW durante un año aproximadamente.

---

<sup>15</sup> [http://ec.europa.eu/research/energy/fu/fu\\_cpa/article\\_1242\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/fu/fu_cpa/article_1242_en.htm)

<sup>16</sup> <http://www.iter.org/>

<sup>17</sup> Más detalles en Zambra (2008).

### III. La industria y el mercado actual del Litio

#### III.1 Recursos y producción mundial de Litio

A partir de los análisis sobre la disponibilidad futura de litio, se ha abierto una discusión entre los expertos más reconocidos, que siguen el mercado del litio, sobre la estimación real de reservas de litio a nivel mundial y la capacidad de proveer la demanda futura. A partir del trabajo de Tahil, "The Trouble with Lithium" (2007 y 2008), y las sucesivas respuestas y contra-respuestas de Evans (2008 y 2009) y Zuleta (2008) se ha puesto en cuestionamiento cuán certera es la información de reservas a nivel mundial.

Según la USGS (U.S. Geological Survey), las reservas base de litio a nivel mundial alcanzarían en el 2008 las 11 millones de toneladas y los recursos totales (incluidas las reservas base) sumarían 13,7 millones<sup>18</sup>. Evans (2008) estima por su parte, que las reservas accesibles de litio ascienden a 30 millones de toneladas de litio metálico, equivalentes a aproximadamente 160 millones de toneladas de carbonato de litio (ver cuadro 1). De éstas reservas accesibles de litio, cerca de 14 millones de toneladas de litio (46%) se encuentran en operaciones actualmente en funcionamiento o propuestas para una pronta puesta en marcha.

A partir de estos resultados, Evans (2008) sostiene que si en la actualidad la demanda anual de litio es de aproximadamente 85.000 ton. de carbonato de litio equivalente (16.000 ton. de litio), entonces las preocupaciones por una falta de provisión de la demanda futura serían "infundadas"<sup>19</sup>.

Por otra parte, Tahil (2008) discute las estimaciones de Evans, e indica que las reservas mundiales probadas solo ascienden actualmente a 4 millones de toneladas de litio metálico, y que los recursos serían del orden de las 17,3 millones de toneladas de litio metálico<sup>20</sup>.

Las cifras estimadas por Tahil, son también consistentes con la relación de reservas geológicas de litio, que se incluyeron en un estudio especializado que concluyó que existían solamente alrededor de 14,7 millones de toneladas de litio en depósitos de salmueras y cerca de 1,6 millones de toneladas en depósitos mineralizados, totalizando 16,3 millones de toneladas de litio en el mundo (Garrett, D., 2004)<sup>21</sup>.

Evans (2009) recientemente, presentó una actualización de sus estimaciones de reservas mundiales, en el Seminario Mundial del Litio realizado en Santiago, a comienzos del 2009. Desestimó las críticas de Tahil, señalando que los términos de "reservas" están sujetos a una tecnología y precio de mercado existente, pero que sin embargo, los precios van cambiando en el tiempo y la tecnología desarrollándose.

---

<sup>18</sup> <http://minerals.er.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/mcs-2009-lithi.pdf>

<sup>19</sup> Zuleta (2008), señala que la actual demanda de litio se sitúa en las 25.000 toneladas de litio metálico, lo que equivale a 135.000 toneladas de carbonato de litio equivalente.

<sup>20</sup> La principal crítica de Tahil (2008) es el amplio espectro de depósitos considerados por Evans (2008), en los que la concentración de litio varía entre un mínimo de 8 ppm a 3.000 ppm o más, por tanto, muchos de los depósitos considerados carecen de viabilidad económica, sobre todo, frente a los depósitos de salmueras de Sudamérica y de China.

<sup>21</sup> Garrett (2004), señala que "El litio es un elemento comparativamente raro, que si bien se encuentra en muchas rocas y en algunas salmueras, pero siempre en muy bajas concentraciones. Hay un número bastante grande de depósitos minerales y salinos de litio, pero comparativamente solo unos pocos de ellos son actualmente o potencialmente comercialmente viables. Muchos son muy pequeños, otros son demasiado bajos en el grado de concentración".

El cuadro 1, resume las reservas mundiales estimadas por Evans (2009)<sup>22</sup>. Según estas nuevas estimaciones, las reservas de litio se concentran principalmente en salmueras, las que representan un 60% de las reservas totales de litio. Las reservas minerales (pegmatitas) alcanzan un 26% de las reservas totales y se concentran en EE.UU. y Zaire fundamentalmente.

Chile, por su parte, muestra las mayores reservas de litio en salmueras, con cerca de 7 millones de ton., las que representan el 39% de las reservas de litio en salmueras y el 23% de las reservas totales de litio a nivel mundial. Las estimaciones de reservas que son adjudicadas a Chile a nivel internacional, no incluyen sin embargo, información de otros salares con contenidos de litio (Pedernales, Punta Negra, Maricunga, Incahuasi, Aguas Calientes).

**Cuadro 1. Reservas Mundiales de Litio.**

(toneladas de litio)

| País / Fuente         | Pegmatitas       | Salmueras         | Salmueras geotermales y pozos petrolíferos | Arcillas (Hectorita) | Jadarita       | TOTAL Reservas    |
|-----------------------|------------------|-------------------|--|----------------------|----------------|-------------------|
| EEUU                  | 2.830.000        | 40.000            | 1.750.000                                  | 2.000.000            |                | 6.620.000         |
| Canadá                | 255.600          |                   |  |                      |                | 255.600           |
| Zimbawe               | 56.700           |                   |  |                      |                | 56.700            |
| Zaire                 | 2.300.000        |                   |  |                      |                | 2.300.000         |
| Australia             | 262.800          |                   |  |                      |                | 262.800           |
| Austria               | 100.000          |                   |  |                      |                | 100.000           |
| Finlandia             | 14.000           |                   |  |                      |                | 14.000            |
| Rusia                 | 1.000.000        |                   |  |                      |                | 1.000.000         |
| Serbia                |                  |                   |  |                      | 850.000        | 850.000           |
| Brazil                | 85.000           |                   |  |                      |                | 85.000            |
| China                 | 750.000          | 2.640.000         |  |                      |                | 3.390.000         |
| Bolivia               |                  | 5.500.000         |  |                      |                | 5.500.000         |
| <b>Chile</b>          |                  | <b>6.900.000</b>  |  |                      |                | <b>6.900.000</b>  |
| Argentina             |                  | 2.550.000         |  |                      |                | 2.550.000         |
| <b>TOTAL x fuente</b> | <b>7.654.100</b> | <b>17.630.000</b> | <b>1.750.000</b>                           | <b>2.000.000</b>     | <b>850.000</b> | <b>29.884.100</b> |

Fuente: Elaboración COCHILCO en base de datos extraídos de Evans, R. (2008)

Es interesante notar que Chile, mediante el Salar de Atacama; Bolivia, con el Salar de Uyuni; y Argentina, a través del Salar del Hombre Muerto, Rincón y Olaroz, concentran cerca del 85% de las reservas de litio en salmueras, y 50% de las reservas totales de litio. Este "triángulo del litio" que se concentra en las zonas fronterizas de los tres países, ha dado paso a que Forbes Magazine se refiera a la región como la "Arabia Saudita del Litio"<sup>23</sup>.

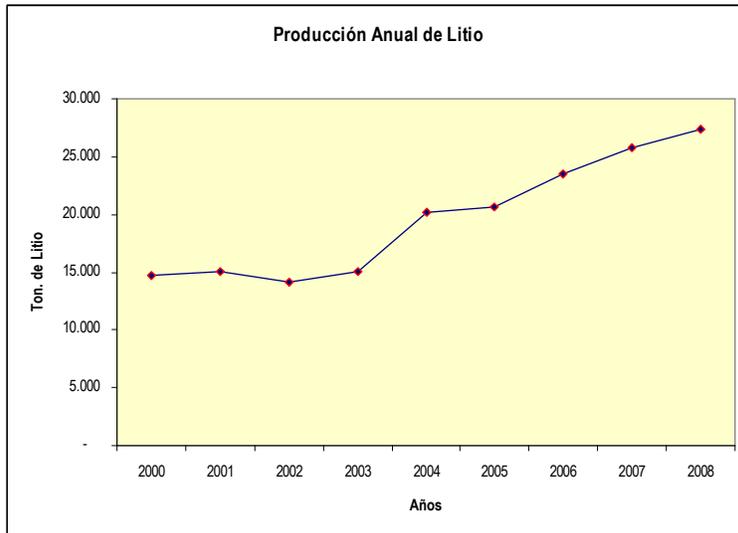
Durante el 2008, la producción mundial de litio metálico alcanzó las 27.400 ton., mostrando un incremento cercano al 90% de las 13.000 toneladas que se producían en el año 2000, lo que significa un incremento promedio anual de un 8% aproximadamente (USGS, 2009). La producción mundial de litio se concentra fundamentalmente en cuatro

<sup>22</sup> Una revisión detallada de las reservas en salmueras y minerales, con las estimaciones tanto de Evans (2008 y 2009) y Tahlil (2008), en los anexos 3 y 4, respectivamente.

<sup>23</sup> <http://www.forbes.com/forbes/2008/1124/034.html>. Ver mapa representativo en Anexo 3.

países: Chile, que lidera el mercado con una participación del 44% de la producción (mediante salmueras), le siguen Australia con una participación del 25% (mediante espodumeno), China y Argentina alcanzan un 13% y 12% respectivamente de participación de la producción mundial (mediante salmueras).

**Gráfico 2. Producción Mundial de Litio 2000 - 2008.**  
(ton. de Litio)



Fuente: Elaboración COCHILCO en base a datos de USGS (2008).

**Gráfico 3. Participación por Países en la Producción Mundial de Litio.**  
(en base a cifras 2008)



Fuente: Elaboración COCHILCO en base a datos de USGS (2008).

Cabe destacar, que antes de la entrada de SQM al mercado del litio, en 1997, la mayoría de la producción de carbonato de litio provenía desde minerales, en particular del espodumeno. Sin embargo, los mayores costos de producción en obtener carbonato de

litio a partir de éste último, llevó a que la producción se trasladara fundamentalmente a salmueras. Si en 1995 las fuentes para la producción de químicos de litio era en 65% minerales y el 35% restantes de salmueras, para el 2007, la producción que provenía de salmueras alcanzó el 86% (SQM, 2009b)<sup>24</sup>.

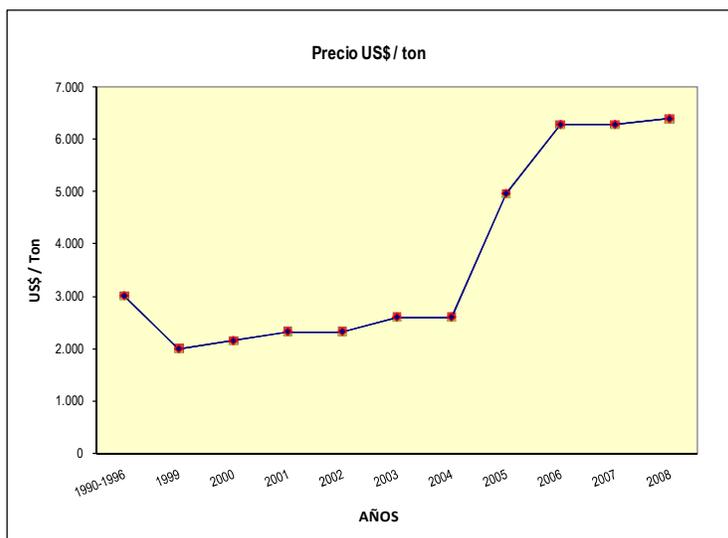
La alta concentración que se evidencia en cuanto a los países que participan en la minería del litio lo es también en cuanto a las principales compañías que participan en esta industria. Tan solo tres empresas concentran prácticamente el 77% de la producción mundial de litio. La mayor participación de mercado la tiene SQM (ex Soquimich) con un 30% del mercado, a partir de su producción en las plantas del Salar de Atacama; Chemetall, la segunda compañía en tamaño, tiene una participación de mercado de un 28%, a partir de plantas en el Salar de Atacama (SCL) y Silver Peak en Nevada (EE.UU.); FMC Corporation, con operaciones en el Salar del Hombre Muerto en Argentina, es la tercera compañía en importancia a nivel mundial, y representa el 19% del mercado. Por otra parte, Talison Minerals -el único productor de mineral de litio en Australia- es el líder mundial en la producción de concentrados de litio a partir de minerales, el que es exportado a China para la producción de carbonato de litio y sus derivados.

### III.2 Precios actuales y Demanda Futura.

#### Precios

Las ambiciosas expectativas de demanda futura de litio ha disparado los precios en los últimos años. Entre 1999 y 2008, el precio promedio del carbonato de litio creció en 222%, lo que significa un crecimiento promedio anual del orden de 13,9%.

**Gráfico 4. Evolución de precios promedio anual de Carbonato de Litio (US\$ Corrientes / tonelada)**



Fuente: Elaboración COCHILCO en base a datos provenientes de "Industrial Minerals", Diciembre de cada año.

<sup>24</sup> Detalle de los costos unitarios de producción de carbonato de litio, por salmueras y minas, en anexos 3 y 4 respectivamente.

Entre 1990 y 1996 el carbonato de litio fue producido desde yacimientos de minerales y salmueras fundamentalmente por las operaciones de Chemetall en SCL (Salar de Atacama) y Silver Peak. El precio de mercado estuvo en torno a los 3.000 US\$/ton.

Con la entrada al mercado de SQM produciendo 9.000 toneladas de carbonato de litio los precios cayeron en cerca de 40%, situándose bajo 1.800 US\$/ton. Entre 1999 y 2004 los precios promedios se mantuvieron estables entre 2.000 y 2.500 US\$/ton. mientras la producción de SQM aumentaba a 24.000 ton. de LCE el 2003<sup>25</sup>.

Desde el 2005, los precios del carbonato de litio experimentaron un brusco aumento (el precio promedio aumentó en 90%), a causa de la escasez en el mercado producida por varios factores: un fuerte incremento de la demanda en las aplicaciones de baterías, problemas de producción en el Salar de Atacama y la puesta en marcha de la planta de hidróxido de litio de SQM<sup>26</sup>; a lo que se debe sumar el propio impacto del ciclo económico mundial que elevó el precio de todos los minerales.

Posterior al 2006, los precios del carbonato de litio han tendido a estabilizarse por sobre los 6.000 US\$/ton.<sup>27</sup>. La crisis económica mundial experimentada desde el 2007, parece no haber afectado mayormente los precios de referencia del carbonato de litio, más aun, si bien el precio promedio aumentó en solo 1,8% entre el 2007 y 2008, el precio mínimo informado aumentó en 3,7% en el mismo período<sup>28</sup>. Lo anterior se puede explicar por la fuerte demanda que está teniendo el litio para las baterías secundarias, en particular, la apuesta de la industria automotriz por enfrentar su propia crisis con el desarrollo en masa de los modelos híbridos y eléctricos.

#### *Demanda actual y futura*

En todos los simposium y reuniones temáticas recientes, el tema de debate central ha sido la preocupación por si la creciente demanda de litio y sus perspectivas a futuro tendrán respuestas por el lado de la oferta. Como se vio en la primera parte de este capítulo, el debate está abierto y no hay completa coincidencia en las posiciones. Los recursos totales estimados varían desde los 21,8 millones de toneladas (Tahil, 2008) a las 31,5 millones de toneladas de litio (Evans, 2009). Las diferencias aumentan, al considerar Tahil que solo 6,8 millones de toneladas de sus estimaciones de 21,8 millones pueden ser consideradas como reservas económicamente factibles.

El debate aumentó, dado que Tahil (2007) señaló que sólo el litio proveniente de salares podía ser usado en la manufactura de baterías, y que los depósitos de espodumeno no serían parte de esto, dado que solo los primeros son "económicamente y energéticamente viables para baterías". Si se considera que las estimaciones de Tahil para las reservas de Litio en salmueras era solo de 4 millones de toneladas<sup>29</sup>, él auspiciaba serios problemas para la industria de las baterías de litio de acceder a fuentes seguras y confiables de litio en el largo plazo (Tahil, 2008).

Evans ha advertido que el término de reservas utilizado tradicionalmente por la USGS se refiere a aquellos recursos que pueden ser extraídos con la tecnología existente a un

---

<sup>25</sup> Ver detalle de evolución de la producción anual en el Salar de Atacama, en el cuadro 5, Anexo 3.

<sup>26</sup> Ehren, Peter (2009). *Chilean Lithium Carbonate Export*. En [http://www.lithiumsite.com/Lithium\\_Market.html](http://www.lithiumsite.com/Lithium_Market.html).

<sup>27</sup> Los precios son informados por "Industrial Minerals", quienes consultan directamente a los principales proveedores y usuarios de la industria del carbonato de litio, puesto que el litio es transado directamente mediante contratos entre clientes y proveedores, y no mediante bolsa.

<sup>28</sup> *Industrial Minerals*, informa un rango de precios mínimo y máximo, para las transacciones de carbonato de litio.

<sup>29</sup> Ver anexo 3.

precio específico, que suele ser el precio de mercado. El problema de esta definición, según Evans, es que los precios cambian y la tecnología se desarrolla (Evans, 2009).

El uso del litio ha experimentado un significativo crecimiento. Según SQM (2009), en los últimos 10 años la demanda global por litio creció en promedio entre un 7 y 8% anual, a partir, principalmente, del desarrollo de las baterías recargables pero también del crecimiento por parte del resto de las aplicaciones<sup>30</sup>. En efecto, la demanda por litio, excluyendo el uso en baterías eléctricas, ha crecido en torno a un 5% por año.

Para el 2008, la demanda por litio alcanzó aproximadamente las 92.000 toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE), correspondiente a 17.000 toneladas de litio metálico, lo que representa un crecimiento en torno al 2% con respecto al 2007. La caída del crecimiento en comparación a los promedios históricos antes obtenidos es el resultado de la desaceleración económica que el mundo empezó a vivir a partir de la segunda mitad del 2008<sup>31</sup>.

Para los próximos 10 años, SQM (2008) proyecta un crecimiento anual de la demanda por litio en un 5%. Y dentro, de eso, las baterías recargables serían las protagonistas, con tasas cercanas al 10% anual. Hacia 2018, las baterías recargables representarán el 42% de la demanda (en 2008 la cifra fue de 27%<sup>32</sup>) y las destinadas a vehículos representarán entre el 10 y el 15%.

Se estima que la demanda mundial de litio en el 2018 alcanzará las 158.000 toneladas de carbonato de litio (29.700 toneladas de litio)<sup>33</sup>. En términos de la capacidad de producción no hay un conocimiento exacto, y dependerá de la evolución de los proyectos de implementación en particular, en China. No obstante, Evans (2009) hace una estimación moderada de la capacidad actual de producción y la fija en 104.000 toneladas de carbonato de litio equivalente. Lo anterior implicaría un déficit de 54.000 toneladas para el 2018, el cuál podría disminuir notablemente si se cumplen las metas de producción en China de 60.000 toneladas para el 2010. El déficit sería entonces en torno a las 14.000 toneladas.

---

<sup>30</sup> Detalles, ver apartado I.3

<sup>31</sup> No existe en la actualidad información clara sobre los impactos de la crisis económica en la industria del litio, no obstante, algunas estimaciones indican una caída del 20% en la demanda de carbonato de litio durante el 2009, ubicándola en alrededor de 68.000 toneladas métricas de LCE (Credit Suisse, 2009).

<sup>32</sup> Detalles, ver apartado I.3.

<sup>33</sup> Otras estimaciones, señalan que la demanda de carbonato de litio alcanzará el 2020 entre 250.000 y 300.000 toneladas respectivamente, lo que significaría crecimientos promedio anual entre un 9 y 11% (TR Group, 2009).

**Cuadro 2. Capacidad de Producción Actual y Proyectada  
(Toneladas de Carbonato de Litio Equivalente -LCE-)**

| Empresa / Yacimiento               | Capacidad de Producción | Capacidad de Producción Estimada al 2010-15 |
|------------------------------------|-------------------------|---|
| SQM, Salar de Atacama.             | 40.000                  | 40.000                                      |
| Chemetall (SCL), Salar de Atacama. | 22.000                  | 33.000 <sup>a</sup>                         |
| Chemetall, Silver Peak.            | 5.000                   |   |
| FMC, Hombre Muerto.                | 16.000                  | 16.000                                      |
| China (Salmueras y Minerales)      | 20.000                  | 60.000                                      |
| Brasil                             | 1.000                   | 1.000                                       |
| Salar del Rincón                   |                         | 17.000                                      |
| <b>TOTAL Capacidad Actual</b>      | <b>104.000</b>          | <b>167.000</b>                              |

Fuente: Evans (2009).

<sup>a</sup>: Incluye la producción estimada al 2010 de Chemetall Integrada (Chemetall, 2009) .

Las dificultades en hacer una estimación de demanda futura para vehículos son variadas. Primero, conocer la tasa de "abandono" de la actual flota existente que utiliza petróleo. Segundo, el potencial uso de bio-combustibles, hidrógeno u otra alternativa, como competencia a las baterías y en tercer lugar, los aspectos relativos al diseño o tamaño de las baterías.

No obstante, hay consenso en que las baterías de litio son la mejor opción para almacenar energía en vehículos eléctricos (EV) y en los vehículos eléctricos híbridos (HEV). En el 2007, 500.000 vehículos híbridos fueron vendidos, siendo Toyota la principal empresa productora de HEV. Para el 2012, se estiman un número mayor de 2.000.000 de vehículos eléctricos y eléctricos híbridos (SQM, 2008).

En la actualidad está en pleno proceso el desarrollo de baterías de ion-litio para vehículos eléctricos e híbridos "enchufables" (plug-in) los que debiesen estar disponibles para la venta a fines del 2009. Estas aplicaciones tendrán un potencial significativo para el mercado del litio. Se estima que entre el 2009 y 2012 aproximadamente 10 fabricantes de vehículos presentarán EV/HEV utilizando baterías de ion-litio (SQM, 2009c).

SQM (2008) declaró que vehículos híbridos y eléctricos debiesen contener de 1 a 5 kg. (2,4 a 12 lbs) de carbonato de litio equivalente. Evans (2009) señala que los rangos de requerimientos de litio son altamente variados, y van de 3,3 lbs en leves híbridos de alta potencia, 6,6 en híbridos completos (2.0 KWh), 50 lbs en híbridos avanzados (plug-in) hasta las 85 lbs en autos eléctricos completos.

Chemetall (2009), sobre la base de una estimación de 60 millones de nuevos vehículos, estima dos escenarios probables, sobre la base de que la industria espera un crecimiento de los autos eléctricos del 1 al 10% al 2020. Un primer escenario con un 1,6% de HEV/EV de los nuevos 60 millones de vehículos y otro escenario con un 10% de HEV/EV. Lo anterior significa, un primer escenario con 1.000.000 de nuevos vehículos HEV/EV o un segundo escenario con 6.000.000 de nuevos vehículos HEV/EV. Este sería el rango de desarrollo esperado al 2020.

Sobre la base del cuadro 5, Chemetall (2009) estima un rango de demanda de carbonato de litio para el primer escenario entre los 5.000 y 10.000 toneladas, y para el segundo escenario entre las 30.000 y 60.000 toneladas de LCE<sup>34</sup>.

Lo anterior, sumado al crecimiento en otros usos, permite proyectar (según Chemetall), una demanda de litio en torno a los rangos de 90.000 y 145.000 toneladas de LCE. Ambas, perfectamente cubiertas con las reservas del Salar de Atacama.

**Cuadro 3. Uso LCE según tipo de batería**

| <b>Tipo Vehículo</b> | <b>EV</b> | <b>PHEV</b> | <b>HEV</b> |
|----------------------|-----------|-------------|------------|
| Capacidad Batería    | 25 kWh    | 12 kWh      | 2 kWh      |
| Demanda LCE          | 15 kg.    | 7,2 kg.     | 1,2 kg.    |

Fuente: Chemetall (2009).

Donde: EV: Vehículos eléctricos; PHEV: Vehículos híbridos eléctricos plug-in; HEV: Vehículos híbridos eléctricos.

---

<sup>34</sup> Los rangos dependerán de la participación de EV, PHEV y HEV.

## IV. El Litio y la política minera actual

### IV.1 Marcos legales y regulatorios de la minería del Litio<sup>35</sup>

El rol que tiene el Estado de Chile con respecto a la minería del litio está relacionado al interés histórico del Estado por los materiales radioactivos en el país.

Desde principio de los años 50's comienza a evidenciarse una preocupación por los minerales radioactivos, no solo asociados a la temática bélica, sino a las potencialidades de generación eléctrica por vía de la fisión del átomo. En 1955, CORFO firmaría un acuerdo de cooperación con EE.UU. para el desarrollo pacífico de la energía nuclear. Y en 1965 se crearía la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN).

Mediante la ley que crea la CCHEN (Ley N°16.319 de 1965) estableció que toda exploración y/o explotación de material atómico natural, o que se utilizaran para la producción de energía nuclear u otros fines, no podrían ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos sino cuando ellos se ejecuten o celebren por la CCHEN, en conjunto con ésta o con su autorización previa. Por otra parte, a partir de la dictación de un "Reglamento de Términos Nucleares" el año 1975, se estableció que el litio al igual que otras materias, es un material "de interés nuclear". No obstante, aclaró que el litio no se hallaba reservado al Estado, sino que gozaba del estatuto general de los minerales, cuál es el de ser sustancias de libre denunciabilidad<sup>36</sup>.

Luego, en 1976 a través del decreto ley N°1.557<sup>37</sup>, se modificó la Ley Orgánica que creó la CCHEN, con la finalidad de dictaminar normas que permitieran celebrar contratos de operación para explorar y/o explotar materiales atómicos naturales mediante contratistas que percibieran una retribución. Se modificó algunas de las definiciones del Reglamento de Términos Nucleares de 1975. También se estableció que únicamente la CCHEN podría fijar y realizar el acopio nacional de estos materiales, para lo cual quedaba facultada para adquirir, a cualquier título, las especies y cantidades que determine. Por último, en su artículo 30, esta ley incorpora expresamente la posibilidad de expropiar, a favor de la CCHEN, los materiales de interés nuclear una vez extraídos.

Las estimaciones del rol que jugaría el Litio en la industria de las baterías secundarias y los reactores de fusión nuclear<sup>38</sup>, y del volumen de reservas de Litio del Salar de Atacama con respecto a otros salares y a las fuentes minerales que por entonces eran la fuente principal de Litio, llevó a que el año 1979 se robusteciera el rol de Estado sobre el Litio (mediante Decreto Ley N°2886). Reservó derechamente el Litio para el Estado (por interés nacional), con dos excepciones: no se extendía a las pertenencias ya existentes y que contaran con acta de mensura inscrita; o bien estuviesen en trámite desde un año a la fecha de publicación de Decreto Ley. También ratificó el rol de la CCHEN sobre todo acto jurídico respecto al Litio y sus concentrados.

En 1983 entró en vigencia, simultáneamente, la Ley N°18.097 Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras y el nuevo Código de Minería, mediante los cuales se mantuvo la

---

<sup>35</sup> Sobre la base de Moscoso (2003) y trabajos internos de COCHILCO no publicados.

<sup>36</sup> Se refiere a sustancias que se estando dentro del objeto material propio de las pertenencias, pueden ser adquiridas por cualquier persona que las solicite al Poder Judicial, sin necesidad de cumplir mayores requisitos, ni de una negociación con las autoridades.

<sup>37</sup> Del 16 de septiembre de 1976, publicado en el Diario Oficial N°29.572 del 30 de septiembre de ese mismo año.

<sup>38</sup> Se estimaba que en el 2015 los EE.UU. ya podrían contar con un reactor de fusión para efectos demostrativos (Moscoso, 2003).

reserva del Litio a favor del Estado y se ratificó que el Litio no es susceptible de concesión minera, excepto aquellas concesiones mineras válidamente constituidas con anterioridad a la publicación de esta ley<sup>39</sup>.

Finalmente, el Código, mediante su artículo 9, abordó la situación de aquellos yacimientos que contengan, a la vez, sustancias concesibles judicialmente y sustancias reservadas al Estado. Se dispuso que en estos casos, pueden los yacimientos ser cubiertos por concesiones judiciales, pero sólo se extenderá a las sustancias de libre denunciabilidad; en este caso, el concesionario debe comunicar al Estado la existencia de sustancias no concesibles que se encuentren, para que éste decida si le exige o no la separación y entrega de las sustancias no concesibles. Se establece además, que será la CCHEN la que ejercerá los derechos del Estado.

## IV.2 Desarrollo de la minería del Litio en Chile

Desde fines de los años 70's el Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile venía estudiando los minerales que contenía el Salar de Atacama, y como resultado de estos estudios, CORFO solicitó, mensuró y finalmente obtuvo, en 1977, 59.820 pertenencias mineras sobre gran parte del Salar (denominadas "OMA"). Poco más tarde CORFO renunció a 27.052 de aquellas pertenencias (que en consecuencia se extinguieron), quedando solo con 32.768, que son las que mantiene hasta el día de hoy.

La autoridad, consciente que para explotar de manera eficiente el litio disponible en el Salar necesitaba realizar fuertes inversiones en capital e incorporar tecnología, en 1975, por medio de CORFO suscribió un contrato básico con la empresa Foote Mineral Co. En 1980, CORFO (45%) y Foote Mineral Co. (55%) dan forma a la Sociedad Chilena del Litio (SCL), para explorar y vender productos de litio procedentes de las salmueras del Salar de Atacama hasta por 200.000 toneladas métricas de litio metálico. CORFO aportó 3.343 pertenencias OMA de las 32.768 que disponía sobre el Salar. Además, estableció a favor de SCL una franja de seguridad de otras 1.370 pertenencias. El mismo año 1980, la CCHEN autorizó a SCL para que vendiera, en términos competitivos, toda clase de productos de litio, salvo los destinados a la creación de energía nuclear por fusión. Este contrato expiró en 2001 pero se renovó hasta el 2014 bajo las mismas condiciones del contrato firmado en 1980, es decir, autorizando una venta acumulada de 200.000 toneladas métricas de litio metálico en el periodo en cuestión, y renovación por períodos de cinco años hasta completar el límite de extracción autorizado.

Entre 1988 y 1989, CORFO vendió el 45% de su participación a Foote Mineral Company por US\$ 15.2 millones (Ebensperger *et al.* 2005)<sup>40</sup>.

Por otra parte, en 1986 entre CORFO (25%), Amax (63.75%) y Molymet (11.25%) se conformó la empresa Minsal Ltda. para explorar, explotar y comercializar potasio, boro, litio y cualquier otro producto o subproducto proveniente de las salmueras del Salar de Atacama. El contrato estableció limitar la producción total de litio a 180.100 toneladas métricas de litio metálico en un plazo de 30 años, evitar las ventas para fines de fusión nuclear y otorgar a la CCHEN una opción preferente para comprar litio-6. En el mismo

---

<sup>39</sup> Al momento de entrar en vigencia el Decreto Ley N°2886, habían sido manifestadas las pertenencias OMA de CORFO en el Salar de Atacama; y las pertenencias Ana María de dominio de CODELCO, en el Salar de Pedernales.

<sup>40</sup> No obstante, el contrato establece que una vez finalizadas las operaciones, las pertenencias deben volver a propiedad de CORFO.

contrato, CORFO se comprometió en aportar un máximo de 14.814 pertenencias OMA, las que finalmente entregó en arriendo.

Luego, en 1993 (noviembre) Amax y Molymet fueron reemplazadas por SQM (filial de Soquimich) y se amplió el plazo de todos los acuerdos adoptados inicialmente hasta el año 2030. Paralelamente se dejaron sin efecto el aporte y arrendamiento de las pertenencias pactados en 1986, y CORFO dio en arrendamiento a MINSAL 16.384 pertenencias OMA en vez de las 14.814 iniciales. También, se comprometió a no explotar para sí o por medio de terceros las 11.670 pertenencias OMA que aún quedaban, ni tampoco las 4.714 que había entregado a SCL (3.344 aportadas más 1.370 que forman una franja de seguridad).

En 1995, la CCHEN ratificó la aprobación de producir y comercializar sales de litio proveniente del Salar con que había favorecido a Minsal en 1986, por 30 años desde la primera venta comercial y hasta por un máximo acumulado de 180.100 toneladas métricas de litio equivalente. También recomendó la separación de litio-6 cuando fuera económica y técnicamente factible, se reservó la primera opción de compra de este material, se reiteró la prohibición de usar o transferir litio para efectos de fusión nuclear, dejó constancia que todo acto jurídico sobre litio extraído, sus concentrados y derivados debían ser aprobados previamente por la CCHEN, formuló recomendaciones para financiar un centro de investigación de litio, entre otros puntos. El mismo año, CORFO vendió la totalidad de sus acciones en Minsal S.A.<sup>41</sup>.

En síntesis, en la actualidad solo CORFO cuenta con pertenencias mineras en el Salar de Atacama, en las cuáles se obtuvo la concesión de litio antes de la entrada en vigor el código minero de 1979. CORFO tiene en arriendo parte de estas pertenencias a SCL y SQM, y por contrato, imposibilitado de arrendar o explotar para sí, el resto de las pertenencias.

Si bien, se desconoce el volumen de Litio contenido en cada uno de los varios salares con los que cuenta Chile, lo que hace difícil clasificarlos en términos de importancia para el desarrollo de la minería del Litio (salvo, claramente, el Salar de Atacama) tampoco existe información actualizada con respecto a las pertenencias mineras que en estos salares existen. De la escasa información disponible, en el estudio ya citado de Moscoso (2003), se hace un inventario de la situación en otros salares, y se indica que: en el Salar de Pedernales, existen pertenencias de dominio de CODELCO, que se constituyeron en 1977, y cuyo objeto material se extendía a los minerales de litio; en el Salar de Pujsa, se encuentran pertenencias particulares, manifestadas posteriormente a la reserva del litio; en el Salar de Maricunga, se hallan pertenencias particulares manifestadas también posteriormente a las reservas de Litio por parte del Estado; en los salares de Tara, Quisquiro y El Laco no se registrarían pertenencias. No obstante, y tal como se señaló anteriormente, esta información no está actualizada. A modo de ejemplo, en el referido estudio de Moscoso, se señala al Salar de Aguas Calientes en la misma condición que los salares indicados, sin embargo, recientemente en la prensa ha aparecido información respecto la compra por parte de LOMIKO Metals Inc. (Compañía de capitales canadienses) de pertenencias por 1.900 Ha en el Salar (83% de territorio que abarca el Salar)<sup>42</sup>.

---

<sup>41</sup> Es necesario resaltar que las obligaciones y facultades específicas de CORFO respecto al litio no se encuentran en el estatuto legal que rige en la actualidad, sino por medio de acuerdos de voluntad suscritos entre las partes involucradas y que aún se encuentran vigentes.

<sup>42</sup> Más detalles en [www.lomiko.com](http://www.lomiko.com)

### IV.3 Royalties y los aportes económicos al país

La explotación del Salar de Atacama está sujeta al cobro de una serie de impuestos específicos y compromisos con el Estado. Por una parte, las empresas productoras que operan en el Salar (SQM y SCL) pagan un impuesto específico (royalty), que es cobrado trimestralmente y corresponde a un 6,8% de las exportaciones de litio (carbonato, hidróxido o minerales). Adicionalmente, SQM paga USD 15.000 anuales por concepto de arriendo de las pertenencias. La explotación del salar también establece el pago de royalty por extracción de otros minerales como potasio, ácido bórico, magnesio, entre otros, los cuáles van desde los 1,8% de las exportaciones (potasio, boro, sulfato) a 10% por magnesio (que es vendido conjuntamente por SQM y SCL).

Las exportaciones de productos de litio (carbonato, cloruro, hidróxido) de SQM y SCL en el 2008, ascendieron a US\$ 263 millones, lo que representa un incremento de un 20% con respecto al 2007 y de un 87% con respecto al 2006.

#### Cuadro 4. Exportaciones de productos de litio de SQM y SCL.

(Cifras en USD de cada año)

|                    | 2006               | 2007               | 2008               |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>SQM</b>         | <b>96.349.882</b>  | <b>148.945.276</b> | <b>174.309.864</b> |
| carbonato de litio | 79.099.302         | 120.817.594        | 142.200.812        |
| óxido de litio     | 17.250.580         | 26.355.477         | 30.751.450         |
| cloruro de litio   |                    | 1.772.205          | 1.357.602          |
| <b>SCL</b>         | <b>44.904.099</b>  | <b>70.867.453</b>  | <b>88.943.537</b>  |
| carbonato de litio | 41.881.955         | 62.082.382         | 79.280.153         |
| óxido de litio     |                    |                    |                    |
| cloruro de litio   | 3.022.144          | 8.785.071          | 9.663.384          |
| <b>TOTAL</b>       | <b>141.253.981</b> | <b>219.812.729</b> | <b>263.253.401</b> |

Fuente: Elaboración COCHILCO en base a datos de web PROCHILE.

De los montos por royalty que recibió CORFO el 2008 por concepto de la explotación del Salar de Atacama, SQM aportó el 93% aproximadamente, con 19,5 millones de dólares; SCL por su parte, con 1,5 millones de dólares aportó el 7% restante (ver cuadro 5).

#### Cuadro 5. Montos totales pagados por SQM y SCL por sus operaciones en el Salar de Atacama.

(Cifras en USD de cada año)

| Año  | SQM        | SCL       | Total             |
|------|------------|-----------|-------------------|
| 2006 | 9.189.480  | 424.740   | <b>9.614.220</b>  |
| 2007 | 13.503.850 | 650.238   | <b>14.154.088</b> |
| 2008 | 19.601.908 | 1.473.640 | <b>21.075.548</b> |

Fuente: Información proporcionada por el SEP (Sistema de Empresas Públicas).

Según la información proporcionada por SQM (2008b), de los montos de royalty pagados a CORFO el 2007, cerca de un 80% corresponde a las partidas correspondientes a la explotación de productos de litio (carbonato, hidróxido y minerales). En particular, el royalty pagado por la explotación de carbonato de litio representa el 66% del total de royalty pagado por SQM el 2007 a CORFO.

## V. Desafíos y recomendaciones futuras de política pública

No hay un consenso en cuanto a si las actuales reservas de litio puedan satisfacer o no la demanda futura. Como se revisó en los apartados anteriores, se ha presentado una controversia en torno a la disponibilidad de litio para la transición aparentemente irreversible hacia la propulsión eléctrica en la industria automotriz global. Lo anterior, puede ser determinante en cómo se verán afectados los precios futuros del mineral.

No obstante lo anterior, la evolución de los precios muestran una alza importante desde el 2004, lo que ha estimulado el desarrollo de nuevas exploraciones o bien la puesta en marcha de nuevos proyectos. Al parecer, la creciente demanda por litio gatillada principalmente por las baterías secundarias será compensada por la entrada de nuevos proyectos en el corto plazo (Argentina y China) y mediano plazo (Bolivia y China). No obstante las expectativas para la entrada de nuevos yacimientos (aumento de la oferta de litio) no significa necesariamente que los precios vayan a tener caídas significativas en el corto y mediano plazo, en tanto que la entrada de nuevos yacimientos se hace precisamente sobre la base del alza de precios experimentada en los últimos años, y por consiguiente, caídas a los precios de comienzos de la década, no harían factible el desarrollo de los nuevos yacimientos.

En este sentido, y aún manteniendo el "status actual" en materia de producción de litio, el posible aumento de precios en el corto plazo se debiese transmitir al Estado chileno mediante mayores montos de impuestos recaudado (aumento de la base imponible)<sup>43</sup>. En este sentido, y dado que en el caso del Salar de Atacama no pueden entrar nuevos actores, las posibilidades de desarrollo de la industria del litio a partir del Salar se reduce a dos opciones: o bien esperar hasta el término de los contratos que se tienen con ambas empresas para realizar nuevas licitaciones<sup>44</sup>; o bien, autorizar aumentos de los montos de extracción de litio, a las empresas que actualmente operan en el Salar de Atacama. No obstante, esta última opción si bien haría aumentar los montos recaudados por el Estado por concepto de impuestos, no aparece como la decisión más óptima en este momento, en cuanto se evidencia aún un proceso de re-acomodo de la industria para una demanda futura que se espera se incremente notoriamente a partir de la producción en masa de baterías para vehículos eléctricos e híbridos<sup>45</sup>.

Por otra parte, el rol cada vez más activo del litio como un mineral clave en el desarrollo futuro de varias industrias (automovilística y en energía fundamentalmente); los posibles impactos que puede alcanzar, en términos de empleo, encadenamientos productivos, desarrollo portuario, entre otros, el desarrollo de la industria del litio en torno a la segunda región (lo que se ha venido a llamar, el "triángulo del litio", por la ubicación geográfica de los tres salares más importantes en la actualidad); y los ingresos que, por concepto de royalty, puede recibir el Estado en el futuro; hacen necesaria una re-definición del papel del Estado en cuanto al desarrollo de la minería del litio a nivel nacional, abriendo

---

<sup>43</sup> El "status actual", se refiere a que solo dos empresas (SQM y SCL) están autorizadas en la actualidad para la producción de litio en el Salar de Atacama, en la modalidad de arriendo de las pertenencias de CORFO. Así mismo, el contrato establecido con estas empresas no permite arrendar las pertenencias restantes de CORFO en el Salar, a otros interesados. Más detalles en el capítulo 4.

<sup>44</sup> Idem.

<sup>45</sup> Además, aumentos en los montos totales autorizados no implica necesariamente mayor producción anual, más aún, SQM está produciendo al máximo de su capacidad de planta (40.000 ton. de LCE), la cual fue inaugurada recientemente.

también la discusión sobre la posibilidad de generar cambios en el status legal que rige al Litio.

Hasta el día de hoy, el Estado ha cumplido un papel más bien de espectador en la materia, limitando su acción principalmente a la autorización de extracción a principios de los 90's en el Salar de Atacama<sup>46</sup>. CORFO, cumple solo un rol como organismo receptor de los montos de impuestos y arriendo que pagan las empresas SQM y SCL<sup>47</sup>. La CCHEN, por su parte, solo cumple el papel de analizar posibles solicitudes de ampliación de las cuotas de extracción de las empresas actualmente autorizadas, sin desarrollar una línea de investigación en el área de usos futuros del Litio<sup>48</sup>. Y si bien, la materialización de cualquier proyecto en el ámbito de la minería del litio, está sujeto al cumplimiento no solo de las condiciones que todo proyecto minero debe cumplir (tributarias, financieras, ambientales), sino y por sobre todo, a la autorización que otorga la CCHEN en cuanto a los límites de extracción permitidos, hasta la fecha, CCHEN no ha recibido solicitudes adicionales de explotación del litio por parte de nuevos actores en el mercado.

Lo anterior se puede deber al desconocimiento de los potenciales geológicos con los que cuenta el país, más allá del Salar de Atacama; los bajos precios del litio que mantuvieron en pausa una serie de proyectos de exploración y explotación; y la incertidumbre en cuanto a la explotación misma del litio, dado el carácter estratégico con el que es definido en la legislación minera vigente y la imposibilidad de su libre denunciabilidad.

No obstante lo anterior, se debe reconocer que el fenómeno del litio es reciente. El shock de precios ocurre recién en el 2005 y solo en el 2008 se empieza a evidenciar una estabilización en un nuevo nivel de precios (en torno a los US\$ 6.000 ton. de LCE). La recesión económica mundial pudo demorar el interés de inversionistas extranjeros por el desarrollo de nuevas fuentes de litio, situación que tiende a cambiar, como ya se aprecia en lo transcurrido del 2009 donde son periódicas las noticias relacionadas al interés de los mercados internacionales por la explotación de nuevos salares<sup>49</sup>.

Lo anterior, justifica la pertinencia de establecer lineamientos de política pública para fortalecer el desarrollo de la minería del Litio, definiendo de forma más explícita el rol que jugará la autoridad minera para hacer más atractiva la inversión pública o privada, en la minería del Litio en Chile. Más aún, establecer lineamientos centrales para una política de fomento de la minería del Litio, adquiere un carácter de urgencia al evidenciar el creciente interés mundial por las reservas de Litio en la región y su explotación, que asegure su disponibilidad para el desarrollo de la industria de los automóviles eléctricos e híbridos, que se aprecia como una de las grandes soluciones a los problemas de calentamiento global y que ha sido puesto en la agenda de los países desarrollados como de alta prioridad.

---

<sup>46</sup> Cómo se vio en el capítulo 4, esto fue posible porque CORFO había declarado sus pertenencias en el Salar de Atacama antes de la entrada en vigor de la Ley que declaró la reserva del Litio a favor del Estado y que el Litio no era susceptible de concesión minera.

<sup>47</sup> Solo recientemente, y ante la solicitud de aumento de cuotas de extracción por parte de SQM, el Sistema de Empresas Públicas (SEP) ha realizado vistas de inspección a las plantas de SQM para evaluar los procesos productivos.

<sup>48</sup> Tal como se recomendaba en el contrato que autorizó la explotación y extracción de Litio por parte de MINSAL y CORFO (ver capítulo 4).

<sup>49</sup> En anexo 3, se detalla por ejemplo, el interés del gobierno de Bolivia por atraer capitales extranjeros para la explotación del Salar de Uyuni, o de los nuevos proyectos en salares en Argentina y China, entre otros.

Algunas de las propuestas que de este informe surgen para ir delineando una política pública que fomente y resguarde el desarrollo de la minería del Litio se presentan a continuación<sup>50</sup>.

### ***Actualización de la información sobre las reservas de Litio existente en el país.***

El conocimiento geológico es base para el desarrollo de la minería, y en la actualidad se carece de un conocimiento sistematizado de las reservas actuales de Litio en el país.

En el Salar de Atacama, se estiman reservas totales por 6,9 millones de toneladas de Li. Más allá de la validez de estas estimaciones, es necesario hacer un levantamiento de las reservas que incluyan al conjunto de salares donde se estima existe presencia de litio. SERNAGEOMIN ha señalado que el último reconocimiento de los recursos en salares data de fines de la década de los sesenta, y que en la actualidad, las empresas que tienen autorización de explotación del Salar no están obligadas a entregar información sobre las reservas actuales.<sup>51</sup>

El conocimiento de las reservas con que cuenta Chile, toma un peso relevante, dado que el aumento proyectado de la demanda de litio en el futuro, irá incrementando los precios actuales, lo que puede hacer rentable un conjunto de proyectos de extracción que antes no lo eran.

La responsabilidad de determinar las reservas por parte de la misma empresa, puede generar problemas de agencia, en cuanto se generan incentivos perversos a sobrestimar las posibles reservas actuales para facilitar la obtención de mayores cuotas de extracción.

El contexto anterior, sumado al carácter estratégico del mineral, debiese conducir al desarrollo de una política que permita un levantamiento de información independiente y veraz de las reservas con los que cuenta el país, de modo de asegurar que la toma de decisiones de política pública, que van desde la opción de desarrollo de explotación pública hasta la definición de las tasas de royalty o las cuotas de extracción, cuenten con la mayor información disponible.

### ***Levantamiento de la información sobre concesiones mineras asignadas en los principales salares del país.***

Como se analizó en el capítulo 4, junto al desconocimiento sobre las reales magnitudes de las reservas de litio en los principales salares, también se desconoce de forma sistematizada y actualizada, las concesiones mineras autorizadas en estos mismos.

Si bien, SERNAGEOMIN es el organismo encargado de sistematizar la información de concesiones mineras, esta no está lo suficientemente actualizada. La información de nuevas concesiones solicitadas a los juzgados de letras correspondientes, debe ser enviada a SERNAGEOMIN por los respectivos juzgados, no obstante, al ser un simple trámite administrativo ésta puede llegar a tardar hasta un año en ser recibida.

---

<sup>50</sup> Propuestas que no requieran de modificaciones a los marcos constitucionales vigentes en el tema minero, que requieren de un mayor análisis, de los alcances legislativos e incluso políticos, que no son materia del presente informe.

<sup>51</sup> Reuniones sostenidas en el transcurso del Estudio.

Y no obstante estas concesiones no pueden traducirse en una explotación directa de Litio (por las razones explicadas en el capítulo 4), se desconoce la real magnitud y el uso que se le ha dado a las concesiones autorizadas en algunos salares.

Al no haber una institución que monitoree el desarrollo del mercado y la industria del Litio, y sistematice la información de propiedad relevante en torno a ella, termina siendo solo a través de la prensa especializada, donde se puede tomar conocimiento de movimientos en la compra y venta concesiones mineras en determinados salares<sup>52</sup>.

La transparencia de la información es un factor clave en el buen funcionamiento de los mercados. Por tanto, el conocimiento de la información anterior asegura un buen funcionamiento de la industria. En tal sentido, es el Estado a quién le cabe el rol de informar y mantener informado a los distintos actores, además que de esta manera se cuenta con mayor información si llegara el momento de autorizar una explotación, de modo de asegurar una competencia real en el mercado, y evitar la concentración de la propiedad y el recurso en una sola empresa o grupo pequeño de ellas.

Se requiere por tanto, mejorar la sistematización y consolidación de la información de concesiones que son otorgadas, tanto las de propiedad de salares como de explotación de recursos asociados al Litio, de modo de hacer un seguimiento a los movimientos de propiedad (muchas veces, solamente especulativos) de la industria.

### **Estudio de factibilidad para transferencias tecnológicas en la Minería del Litio.**

Según lo recopilado en entrevistas sostenidas<sup>53</sup>, una parte de las concesiones ya otorgadas en los Salares (que de todos modos, y como se señaló, no existe un completo inventario de ellas) están en propiedad de medianas empresas mineras. Sea lo anterior por interés en explotar litio en un futuro cercano, o bien por un interés en otros minerales, o sencillamente por interés especulativo.

Si bien, la mayoría de este litio está bajo reserva del Estado, lo que imposibilita su explotación privada, salvo concesiones o contratos especiales otorgados por el Estado, también se reconoce que existe en la actualidad una falta de conocimiento en la explotación del mineral por parte de los medianos productores. La transferencia de tecnología para el desarrollo de parte de la cadena productiva del litio, podría permitir un mayor aprovechamiento de las reservas con que cuenta Chile, a la vez de diversificar la estructura de mercado actualmente existente.

Las características geográfica de los salares en Chile, permite extraer litio mediante un proceso de bajo costo (alta tasa de evaporación en el norte chileno). El desarrollo de este proceso en pequeñas escalas podría ser apoyado mediante proyectos de transferencia tecnológica desde el sector público, facilitando la transferencia tecnológica y capacitación de la mediana y pequeña minería.

En este sentido, y cómo se explicó en el capítulo 4, mediante los acuerdos suscritos en 1995, en los cuales CCHEN ratificó el acuerdo mediante el cual CORFO entregó en arriendo las pertenencias OMA del Salar de Atacama a SQM (entonces MINSAL), se

---

<sup>52</sup> Un ejemplo de lo anterior, es el hecho de que mediante un seguimiento de información financiera fue posible saber que Lomiko Metals Inc., ha adquirido el 80% de las pertenencias del Salar de Aguas Calientes, estando el 20% restante en control de SQM SA.

<sup>53</sup> Principalmente con SERNAGEOMIN.

hicieron recomendaciones en orden a financiar mediante los montos de arriendo e impuestos cobrados a SQM, un futuro centro de investigaciones de litio.

Este centro, o conocido como "Instituto del litio", tenía por finalidad centralizar todo tipo de información relacionada con el metal, como por ejemplo, estado actual de las investigaciones nacionales e internacionales en torno a las aplicaciones de última generación, informaciones técnicas y estadísticas. Finalmente, nunca se ha concretado esta recomendación<sup>54</sup>.

De este modo, si estudios y/o catastros futuros permitieran confirmar el hecho de una importante reserva de litio en diferentes salares, y la necesidad de transferir tecnologías y conocimientos en los procesos de producción de litio a nuevas industria mineras (principalmente pequeña y mediana minería), se podría re-pensar la posibilidad de generar una instancia inter-gubernamental o bien un ente público-privado, que permitiera en parte desarrollar y administrar proyectos de transferencia tecnológica, atracción de capitales, sistematizar y centralizar la información de concesiones en los distintos salares, actualización de la información de reservas, y seguimiento a la industria y mercado del litio.

### ***Seguimiento al mercado e industria del Litio.***

La mayor información posible, es clave a la hora de la toma de decisiones en la implementación de la política pública. En el ámbito del desarrollo de la minería del Litio, por ejemplo, contar con una actualizada información de la evolución y proyección de precios o bien del comportamiento de la industria misma, ya sea por el lado de la demanda o la oferta, puede facilitar la decisión respecto a temas que van desde las inversiones públicas en la industria, a la decisión de otorgar o no, cuotas de extracción de las reservas de litio del Estado.

En ese sentido, hacer un seguimiento a los mercados internacionales del litio, desarrollar estudios de proyección de precios y demanda, evaluar los principales determinantes de los precios de corto y largo plazo, analizar el peso efectivo de la oferta nacional en los mercados internacionales, dar un seguimiento periódico a la oferta de litio a nivel mundial y a los costos de producción que tienen los distintos procesos productivos, estimar proyección de exportaciones e ingreso por concepto de impuestos específicos, entre otros estudios, son determinantes para entender un mercado que se está desarrollando de forma vertiginosa, y que dado el carácter estratégico del mineral determinado por la Ley, el Estado juega y jugará un papel relevante, sino, fundamental para su desarrollo.

Una propuesta, en este ámbito, es conformar un equipo especializado en alguna institución pública (COCHILCO, por ejemplo), que siendo parte de una instancia de coordinación inter-gubernamental (como la propuesta indicada en el punto anterior), tenga como responsabilidad dar un seguimiento continuo a la industria del litio, y que pueda responder a los requerimientos de información a la hora de definir políticas específicas para la industria.

---

<sup>54</sup> Una razón para ello, puede ser el desinterés que se tenía, hasta hace un par de años, por el desarrollo de la minería del litio. Y por otro, el desinterés del Estado por el desarrollo de la opción núcleo-energética, significó una reducción de los ámbitos de operación del organismo responsable de llevar adelante ésta recomendación, la CCHEN.

### **Apoyo al desarrollo de un Cluster del Litio en la zona del “Triangulo del Litio”.**

Tal como se explicó en el apartado II.2, el crecimiento de la demanda por litio y las proyecciones de ésta hacia el futuro, ha volcado el interés mundial por las reservas del mineral hacia las zonas dónde estas se concentran en mayor proporción y calidad. En este sentido, la prensa internacional ya ha denominado a la zona donde se encuentran el Salar de Atacama en Chile, el Salar de Uyuni en Bolivia, y el Salar del Hombre Muerto en Argentina, como el “Triángulo del Litio” o bien “La Arabia Saudita del Litio”. En esta región, se concentra el 85% de las reservas conocidas actualmente.

La concentración de los tres salares más importantes en cuanto a reservas actuales de litio, coloca en un lugar privilegiado a la ciudad de Antofagasta y en general a toda la segunda región del país. Tanto para el Salar de Uyuni, como para el del Hombre Muerto, su comercialización natural debiese ser por la región de Antofagasta.

En la actualidad, una parte importante de las exportaciones de carbonato de litio que provienen del Salar del Hombre Muerto son enviadas a los EE.UU. vía el puerto de Antofagasta, aprovechando el ferrocarril de Salta a Antofagasta<sup>55</sup>. Incluso, los actuales proyectos de explotación de los salares del Rincón y Olaróz en la provincia de Salta en Argentina consideran también a Antofagasta como la puerta de salida de sus exportaciones. El interés por aprovechar este flujo comercial aceleró también el interés de las autoridades por facilitar este intercambio, mediante el mejoramiento de las rutas entre Antofagasta y Salta, que en la actualidad abarca 700 kms aproximadamente.

Por su parte, si bien la producción de Litio en el salar de Uyuni aún está en etapas preliminares, su cercanía a la región (está solo a 30 kms. de la frontera con Chile), colocan al puerto de Antofagasta como el lugar privilegiado para las exportaciones desde Bolivia.

Esta condición estratégica, no tan solo del puerto de Antofagasta, sino de la región en su conjunto que concentra a las mayores reservas actuales de Litio, debiesen ser seriamente consideradas en la perspectiva del desarrollo de un *cluster* del litio en la región, ya sea a nivel nacional, como también, desde una perspectiva de integración económica entre estos tres países.

La posibilidad de desarrollo de un *cluster* en torno al litio, se potencia en la medida de que se asegure un mercado en gran parte de la cadena productiva del litio. En este sentido, explorar el desarrollo de industrias avanzadas en la región para usos del carbonato de litio, como pueden ser la fabricación de litio metálico o incluso las mismas baterías para autos eléctricos, puede verse estimulada por los anuncios de instalación de empresas de ensamblaje de autos eléctricos en Uruguay<sup>56</sup>. Esta perspectiva, que implica una integración económica de carácter regional, debe ser considerada seriamente para su análisis, incluso en la perspectiva de aprovechar el poder de mercado que tiene la región, al concentrar las mayores y mejores reservas de litio a nivel mundial, de modo de impulsar en conjunto políticas de fomento y/o atracción de capitales, dando seguridad al inversionista y obteniendo de forma conjunta los mayores excedentes posibles para los países involucrados.

---

<sup>55</sup> A partir de los Tratados de Integración Minero Argentino-Chileno, se facilitó la comercialización de productos argentinos por puertos chilenos.

<sup>56</sup> <http://www.marketwire.com/press-release/Zap-902687.html>

### ***Taller Internacional para una mirada regional del litio.***

En concordancia con lo expuesto anteriormente, y en la perspectiva de tener una mayor comprensión de la industria y del mercado del litio, generar una discusión sobre las distintas estimaciones de reservas de litio a nivel mundial y su implicancia para el desarrollo futuro de la industria, conocer con mayor exactitud el estado de avance y las proyecciones de la industria a nivel regional, evaluar la posibilidad para el desarrollo de polos tecnológicos que permitan dar un mayor valor agregado a la minería del litio, entre otras temáticas, podrían ser los fundamentos para convocar a un taller internacional con expertos regionales que entreguen elementos para comprender mejor la industria.

## Referencias Bibliográficas

- Credit Suisse (2009). *Lithium*. Autores: J. P. McNulty y A. Khaykin. Credit Suisse Group. Octubre, 2009.
- Evans, R.K. (2008). *An Abundance of Lithium*. Ver <http://lithiumabundance.blogspot.com/>
- Evans, R.K. (2009). *Lithium Resources are they Adequade?*. Presentación en la Conferencia "Lithium Supply Markets 2009". Enero, 2009. Santiago.
- Garrett, Donald E. (2004). "Handobook of Lithium and Natural Calcium Chloride". Academic Press.
- González, A. (2000). *Riquezas Minerales de Chile a Nivel Mundial*. Working paper. Universidad de Chile. Santiago.
- Moscoso, C. (2003). "Estudio Económico-Jurídico sobre una Eventual Liberalización de la Explotación y Comercialización del Litio". Informe Final Consultoría al Ministerio de Minería. Departamento de Ingeniería en minas. Universidad de Chile. Santiago.
- Pimentel, S. (1998). *Monografía: el Litio*. Serie Monografías de Recursos Mineros no Metálicos. Comisión Chilena del Cobre. Santiago.
- SQM (2008). *"Resultados y Perspectivas del Mercado: Primer Semestre 2008"*. Presentación. [www.sqm.com](http://www.sqm.com)
- SQM (2008b). *"Mercado del Litio"*. Presentación al SEP. Enero 2008. De uso exclusivo.
- SQM (2008c). *Proyección de los Efectos Económicos de los Cambios en los Límites de Producción y Comercialización de Litio en el Salar de Atacama*. Documento de uso exclusivo SQM/CORFO, mayo de 2008.
- SQM (2009). "Anual Report 2008". SQM S.A. [www.sqm.com](http://www.sqm.com).
- SQM (2009b). *"SQM Lithium Resources and View of the Lithium Industry"*. Presentación de Patricio de Solminihac, Vice-Presidente Ejecutivo SQM S.A. En la Conferencia "Lithium Supply Markets 2009". Enero, 2009. Santiago.
- SQM (2009c). *"Presentación Corporativa. SQM S.A."*. Marzo 2009. [www.sqm.com](http://www.sqm.com)
- Tahil, W. (2008). *The Trouble with Lithium 2: Under the microscope*. Meridian International Research, Martainville, Francia.
- TRU Group (2009). *"Sustainable Lithium Supplies through 2020 in the Face of Sustainable Market Growth"*. Lithium Supply and Markets Conference, Enero, 2009. Santiago.
- Yaksic, A. (2008). "Análisis de la Disponibilidad de Litio en el Largo Plazo". Tesis para obtener el grado de Magíster en Ingeniería. Escuela de Ingeniería. Universidad Católica de Chile. Santiago.
- Zambra, M. (2008). *Importancia del Litio en el Futuro Proceso Comercial de la Fusión Nuclear*. Informe a la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN). Santiago.
- Zuleta, J. C. (2008). *Peak Lithium or Lithium in Abundance?*. <http://www.evworld.com/article.cfm?storyid=1457>

## ANEXOS

### ANEXO 1: Las fuentes de Litio.<sup>57</sup>

El litio deriva de la palabra griega "LITHOS", que significa piedra. Es un elemento metálico, blanco plateado, químicamente reactivo, el más ligero en peso de todos los metales, y de bajo punto de fusión. Su símbolo, en la tabla periódica, es **Li**. Es un elemento fuertemente electropositivo, lo que le confiere gran poder de reactividad frente a los agentes químicos.

El litio es un elemento moderadamente abundante y está presente en la corteza terrestre en 65 partes por millón (ppm)<sup>58</sup>. Si bien el litio se encuentra presente en una amplia gama de minerales (aproximadamente 145 especies mineralógicas contienen litio) sólo algunas poseen valor económico (*espodumeno*, *lepidolita*, *petalita*, *ambigonita* y *eucryptita*). Al mismo tiempo, el litio se encuentra en salmueras de diversos orígenes, como salmueras naturales, salmueras asociadas a pozos petrolíferos y a campos geotermales. Las salmueras con valor económico se encuentran básicamente en salares y lagos salinos. También se encuentra presente en diversas arcillas (siendo la hectorita la más importante) y en el agua de mar, en concentraciones que bordean las 0,17 ppm. (Yaksic, A. 2008).

#### Los minerales de Litio

Los minerales de litio comercialmente explotables existen en *pegmatitas* graníticas. Las mayores reservas de pegmatitas ricas en minerales de litio, se encuentran en los EE.UU., Australia, Canadá, R.D. del Congo, Zimbabwe, China y Rusia. Entre los yacimientos del tipo pegmatitas que han sido fuentes comerciales de litio se encuentran:

- *Espodumeno*: es el más abundante de los minerales de pegmatitas ricas en litio, constituyendo alrededor de un 20% de los minerales contenidos en la pegmatita. Existen yacimientos en Carolina del Norte (Estados Unidos), Canadá, Australia, Zimbabwe, Congo, Brasil, Rusia, China y Argentina.
- *Petalita*: después del espodumeno es el mineral que presenta una mayor importancia económica. Se usa como fuente para producir concentrados de litio, los que se comercializan por su alto contenido de óxido de litio (Li<sub>2</sub>O). Existen depósitos en Zimbabwe, Namibia, Canadá, Brasil y Rusia.
- *Lepidolita*: Este tipo de mineral junto con la *petalita* se usan principalmente y en forma directa como mineral en la industria de vidrios y cerámicas. Los depósitos más importantes se encuentran en Zimbabwe, Brasil, Canadá Australia y Portugal.
- *Ambigonita* y *Eucryptita*: se encuentran en pequeñas cantidades en yacimientos de Canadá, Estados Unidos, Australia, Namibia y Brasil.

De los anteriores minerales, los actualmente más importantes desde el punto de vista económico son el espodumeno y la petalita. Ambos son utilizados como fuente para producir concentrados de Litio. A partir de estos minerales también se produce carbonato de litio, que es el compuesto químico demandado mayoritariamente por la industria.

---

<sup>57</sup> Sobre la base de los trabajos de Moscoso, C. (2003) y Yaksic, A. (2008), Pimentel, S. (1998).

<sup>58</sup> Esto lo coloca por debajo del níquel, cobre y tungsteno y por encima del plomo, zinc o el estaño, en lo referente a abundancia.

### **Las salmueras**

La mayor cantidad de Litio en la naturaleza se encuentra en salmueras naturales y no en minerales pegmatíticos. Desde la década de los sesenta las salmueras se han convertido en la principal fuente de litio, debido al costo mucho más bajo de producir carbonato de litio en comparación al costo de obtenerlo a partir de minerales.

Los depósitos más importantes de salmueras que contienen litio se encuentran en lagos salinos continentales y en salares<sup>59</sup>. Las salmueras de los salares son ricas en litio y otras sales solubles<sup>60</sup>. La calidad del depósito, dependerá en gran medida de los niveles de concentración de los diversos elementos que la salmuera contenga. La concentración de litio en salmueras varía generalmente entre 200 y 2.000 ppm (0,02 a 0,2%).

Las salmueras más importantes, en términos de calidad y volumen, se encuentran en el norte de Chile (Salar de Atacama), occidente de Bolivia (Salar de Uyuni), norte de Argentina (Salar del Hambre Muerto), en diversos lagos salinos de los EE.UU., en el noreste de China (provincia de Qinghai), en el Tíbet y Rusia.

### **Salmueras asociadas a pozos petrolíferos y campos geotermales**

Fuentes potenciales de litio la constituyen también algunas salmueras de pozos petrolíferos y de campos geotermales. En los EE.UU. se han identificado varias salmueras asociadas a campos petrolíferos con contenidos importantes de litio. Sin embargo, la complejidad química de estas salmueras no las hace atractivas como fuentes de litio, mientras no se desarrollen tecnologías adecuadas. En cuanto a los campos geotermales, estos también constituyen fuentes potenciales de litio, sin embargo, la recuperación de litio de fuentes geotermales es compleja por diversas razones: a) concentraciones relativamente bajas; b) altas temperaturas de las soluciones; y c) la presencia de cantidades relativamente altas de otros minerales tales como hierro, manganeso, sílice, zinc, plomo, magnesio, etc.

### **Arcillas sedimentarias**

Las arcillas también pueden representar una fuente potencial de litio. Las arcillas ricas en litio pueden dividirse en dos tipos: a) arcillas en las cuales el litio forma parte de la estructura cristalina, como es el caso del mineral de arcilla llamado hectorita; y b) arcillas en las cuales el litio resulta de un enriquecimiento secundario, por efecto del movimiento de aguas termales o subterráneas.

El potencial de la hectorita como fuente de litio fue descubierto en los años setenta en los EE.UU. A pesar de que las hectoritas pueden tener litio en el mismo orden de magnitud que las pegmatitas de interés comercial, no se cree que lleguen a ser fuentes de litio en un futuro cercano. El principal problema tecnológico está asociado a la extracción del litio de la red cristalina.

---

<sup>59</sup> Estos salares se han formado en cuencas cerradas de origen tectónico por un proceso de concentración por evaporación solar de las soluciones ricas en sales que fluyen a la cuenca. La precipitación de sales desde las salmueras sigue una secuencia según un orden de solubilidad creciente.

<sup>60</sup> Como por ejemplo, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, boratos, sulfatos, etc., muchos de los cuales están en concentraciones más elevadas que el litio.

## **ANEXO 2: El proceso de producción del Litio.**

Si bien el litio se encuentra presenta tanto en minerales, salmueras, pozos petrolíferos, campos geotermales, arcillas e incluso en los océanos, en la actualidad solo 2 procesos de obtención son económicamente factibles: mediante salmueras y minerales<sup>61</sup>.

### **Obtención desde minerales**

El espodumeno fue la fuente principal de obtención de carbonato de litio hasta la explotación del litio contenido en salmueras naturales. El mineral de espodumeno se concentra por flotación diferencial para obtener un concentrado con un contenido de 2,5 a 3,2% de litio, lo que equivale a 85 a 95% de espodumeno. En la actualidad, y dado los altos costos de producir carbonato de litio a partir del espodumeno, los productores de minerales de litio se han volcado solo a la producción de concentrados, que siguen siendo competitivos para la industria de los vidrios y las cerámicas.

Para la producción de litio del espodumeno natural, el concentrado del mismo debe ser calcinado previamente con caliza, para posteriormente y mediante procesos de molienda, lixiviación, precipitaciones sucesivas, entre otros, y dependiendo del agente tratante, se pueda extraer un alto porcentaje del litio, produciendo hidróxido de litio, carbonato de litio o cloruro de litio.

### **Obtención desde salmueras**

El desarrollo del proceso de recuperación del litio a partir de salmueras tuvo un fuerte impacto en la industria del litio a fines de los 60, al constituir este proceso una fuente de litio con costos mucho más bajos en comparación a la obtención de litio a partir de los minerales pegmatíticos.

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

Para el caso del Salar de Atacama, una de las mayores reservas mundiales de litio, la salmuera se bombea desde abajo de la corteza salina (30 – 50 metros de profundidad), las que son depositadas en piscinas de baja profundidad y grandes dimensiones, en las cuáles, y a partir del proceso de evaporación solar, comienzan a precipitar secuencialmente un conjunto de sales<sup>62</sup>. De este modo, se extraen sales tales como cloruro de potasio, cloruro de sodio, sulfato de potasio, sulfato de sodio, entre otras.

Cabe destacar que la salmuera extraída del salar presenta un contenido de litio de 0,22%. Posterior a este proceso sucesivo de evaporación se alcanza un contenido de litio cercano al 6%, no obstante presenta impurezas de magnesio, boro y sulfato<sup>63</sup>.

Posteriormente, la salmuera concentrada de litio es transportada por camiones aljibes a las plantas de procesamiento, donde es sometida a procesos de purificación y precipitación a modo de obtener carbonato de litio, con una pureza obtenida cercana al

---

<sup>61</sup> Para detalles ver trabajos de Pimentel, S. (1998), Moscoso, C. (2003).

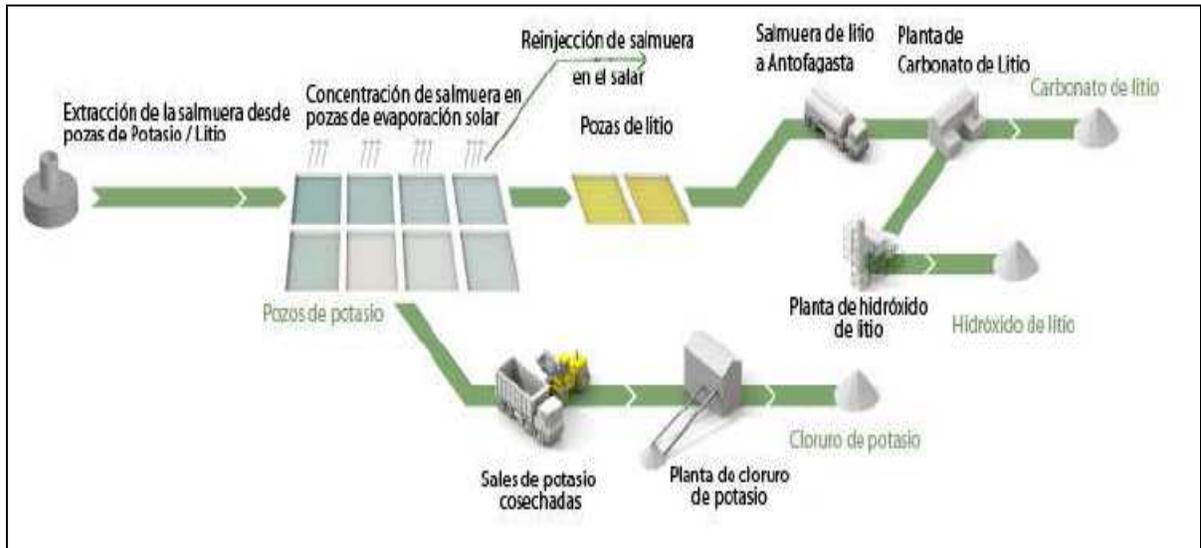
<sup>62</sup> Las características del Desierto de Atacama, lugar de ubicación del Salar, como el lugar más seco de la tierra, con un índice de evaporación de 3.200 milímetros y precipitaciones anuales de apenas 15 milímetros, permiten una concentración de energía solar extremadamente eficiente, lo que redundo en un proceso mucho más eficiente y competitivo de extracción de litio que otros salares.

<sup>63</sup> El proceso descrito hasta ahora, es desarrollado tanto por la planta de SQM como también por SCL.

99,5%, aunque el mercado exige un mínimo de 99,1%. El carbonato de litio puede ser la materia prima para la producción de hidróxido de litio o bien de cloruro de litio de alta pureza que se emplea en la obtención de **litio metálico** por electrólisis de sales fundidas.

**Figura 2. Proceso de producción de Litio a partir de salmueras.**

**Caso: planta SQM en el Salar de Atacama.**



Fuente: WEB de SQM ([www.sqm.com](http://www.sqm.com)).

### ANEXO 3: Recursos y producción en Salmueras

Antes de la entrada de SQM al mercado del litio, en 1997, la mayoría de la producción de carbonato de litio provenía desde minerales, en particular del espodumeno. Sin embargo, los mayores costos de producción en obtener carbonato de litio a partir de este último, llevó a que la producción de carbonato de litio proviniera fundamentalmente de salmueras. En 1995 las fuentes para la producción de químicos de litio era en 65% minerales y el 35% restantes de salmueras. En el 2007, el 86% de la producción de químicos de litio provenía de salmueras.

Solo tres salares concentran el 85% de las reservas conocidas de Litio: el Salar de Atacama, el Salar del Hombre Muerto, y el Salar de Uyuni. El "triángulo del litio", como ha sido denominado, abarca la frontera de Chile, Bolivia y Argentina. Se estima que estas características geográficas podrían colocar al puerto de Antofagasta como la puerta de salida de las exportaciones de estos tres salares. Y a las ciudades de Potosí en Bolivia, Salta en Argentina y Antofagasta en Chile, como las capitales tripartitas del Litio (Tahil, 2008).

Figura 3. El "triángulo del Litio".



Fuente: Tahil (2008).

#### Salar de Atacama

El Salar de Atacama es el depósito de mayor calidad de Litio en el mundo. Al ser una fuente de salmuera, la extracción es menos costosa y menos intensiva en energía que la de minerales de roca dura.

Ubicado en el sector centro-oriental de la II Región, a 2.300 metros sobre el nivel del mar, alcanza una superficie de alrededor de 3.000 kms<sup>2</sup>. La recarga de aguas salobres, en conjunto con la continua evaporación por las condiciones climáticas de extrema aridez, generó un cuerpo salino central llamado núcleo, de aproximadamente 1.400 kms<sup>2</sup>.

Las concentraciones de litio en el Salar de Atacama son las más alta entre los salares conocidos, con 1.500 ppm en promedio y variaciones que van entre 600 a 5.000 ppm. Dada estas características, el Salar de Atacama constituye la reserva de litio de mejor calidad en la tierra. Por otra parte, las características climáticas del desierto de Atacama, permiten que el Salar presente también las mayores tasas de evaporación del mundo alcanzando los 3.700 mm/año, lo que disminuye los costos de procesamiento notablemente.

En términos absolutos, el Salar de Atacama es el segundo en tamaño de depósitos de Litio (superado por el Salar de Uyuni), pero presenta una notable ventaja económica en la recuperación de los contenidos de litio.

#### *Recursos en el Salar de Atacama*

En 1978, fueron estimadas reservas en 1.290.000 toneladas de Li., en un área de 420 kms<sup>2</sup> en el núcleo central del Salar, a 20 mts. de profundidad, y con una concentración media de 1.250 ppm<sup>64</sup>. Por extrapolación a un área de 1.300 kms<sup>2</sup> y 30 mts. de profundidad, se infirieron recursos por 3 millones de toneladas de Li., que son las cifras que publica anualmente, hasta el día de hoy, la USGS. CORFO, por su parte, estimó las reservas del Salar de Atacama en 4,5 millones de ton. de Litio (González, 2000).

Inicialmente, las reservas estimadas de litio en el área arrendada a SQM (819 kms<sup>2</sup>) fueron de 1,8 millones de ton., estimadas a 40 mts de profundidad del acuífero (Moscoso, 2003). En un reciente estudio contratado por SQM, que solo abarcaron la zona arrendada a SQM, y que incluyó hasta 200 mts. de profundidad para la extracción de las aguas, se establecieron reservas de Litio en torno a los 6 millones de toneladas (ENVIROS, 2008).

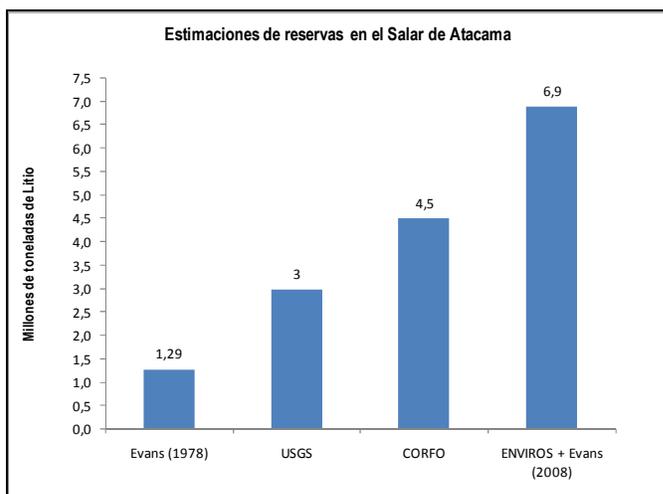
Evans (2008) señala que si bien el total de reservas de todo el Salar de Atacama no es conocido con exactitud, sí se pueden hacer estimaciones tentativas: para las zonas que son arrendadas a SCL se estimaron en sus inicios reservas por 500.000 ton. Li. Para las "franjas de seguridad", esto es, las áreas entre las propiedades arrendadas a SCL y SQM, y las áreas no reclamadas en la zona norte del Salar, se estimaron reservas por 400.000 ton. de Li. Todo lo anterior sumaría las 6.900.000 ton. de Li estimadas como reservas totales del Salar de Atacama.

---

<sup>64</sup> Lithium Reserves and Resources, RK Evans, Energy, Vol. 3, No. 3, 1978.

### Gráfico 5. Estimaciones de reservas de Litio en el Salar de Atacama.

(Millones de toneladas)



Fuente: Elaboración COCHILCO.

### Producción en el Salar de Atacama

SCL comenzó la producción de carbonato de litio desde sus recursos en 1984 con una capacidad de producción de 13.000 toneladas anuales. SQM comenzó su producción en 1996 con una capacidad de producción de 18.000 toneladas anuales. Se estima que el total de carbonato de litio equivalente (LCE) producido en el Salar de Atacama a la fecha es del orden de las 500.000 toneladas, lo que representa cerca de 100.000 ton. de litio metálico<sup>65</sup>.

### Cuadro 5. Producción Estimada de carbonato de litio (LCE) a la fecha

(toneladas de LCE)

|                      | SCL            | SQM            | Total Esas.    |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>1984-1996</b>     | 100.000        | -              | 100.000        |
| <b>1997</b>          | 14.500         | 9.000          | 23.500         |
| <b>1998</b>          | 14.500         | 18.000         | 32.500         |
| <b>1999</b>          | 14.500         | 18.000         | 32.500         |
| <b>2000</b>          | 14.500         | 19.000         | 33.500         |
| <b>2001</b>          | 14.500         | 21.000         | 35.500         |
| <b>2002</b>          | 16.330         | 22.000         | 38.330         |
| <b>2003</b>          | 16.330         | 24.000         | 40.330         |
| <b>2004</b>          | 16.330         | 26.000         | 42.330         |
| <b>2005</b>          | 16.330         | 28.000         | 44.330         |
| <b>2006</b>          | 22.000         | 28.000         | 50.000         |
| <b>2007</b>          | 22.000         | 32.000         | 54.000         |
| <b>Total Período</b> | <b>281.820</b> | <b>245.000</b> | <b>526.820</b> |

Fuente: Tahil (2008).

<sup>65</sup> 1kt de Li = 5.28kt LCE

La planta de SQM para la producción de carbonato de litio, ubicada en el salar del Carmen, cerca de Antofagasta, tenía una capacidad inicial de producción de 28.000 toneladas por año de carbonato de litio. Actualmente está en condiciones de producir 40.000 toneladas anuales de carbonato de litio.

Si bien la extracción acumulada representa aún un bajo porcentaje de las reservas del Salar, en cualquiera de las estimaciones de reservas que se tienen, Tahil (2008) sostiene que estas 100.000 toneladas se han extraído del epicentro del Salar, zona de 30 km<sup>2</sup> y 35 mts. de profundidad, con las mayores concentraciones de litio del Salar (superior a 3.000 ppm), y reservas estimadas en 450.000 ton. de Litio.

Por tanto, ya se habrían extraído cerca de un 22% de las reservas de alto grado de litio metálico del epicentro del salar, incluso aventura "... y posiblemente un 63% de los mejores depósitos sobre 4.000 ppm, junto a eso" (Tahil, 2008).

### **Costos de la Producción en el Salar**

Dadas las características antes indicadas del Salar, los altos niveles de evaporación y grados de litio de la salmuera, tanto SQM como SCL muestran los costos de producción más bajos del mercado. Incluso, para SQM estos costos pueden ser aún más bajos dado que recupera litio como un co-producto de la producción de cloruro de potasio.

En el 2004, se estimó que los costos de producción del Salar de Atacama fluctuaban entre los US\$0,4 – 0,5/lb (Pavlovic, 2004). Yaksic (2008) estima que agregando los costos de capital que significan los proyectos de ampliación de la planta productora de carbonato de litio, los costos unitarios totales estarían entre US\$0,5 - 0,8/lb.

SQM por su parte, ha señalado que durante el 2008 los costos de producción se incrementaron como consecuencia los mayores costos de energía que significó el cambio de gas natural, el deterioro del valor del dólar con respecto al peso, y los aumentos en los costos de algunos insumos, como el de la ceniza de soda. Lo anterior sumado a los costos de capital e inversiones en curso, habría llevado a un costo total de producción de carbonato de litio en el Salar de Atacama de US\$ 2.200/T, o bien US\$0,99/lb (SQM, 2008c)

### **Salar de Maricunga**

Es el segundo salar de mayor importancia en Chile. Sus concentraciones de litio están en torno a los 400 – 1.500 ppm. Se estiman reservas por 200.000 ton. de Li. Sus costos se estiman entre US\$ 1, 0 – 1,5/lb (Yaksic, 2008).

### **Salar del Hombre Muerto**

El Salar del Hombre Muerto está ubicado a 220km al sureste del Salara de Atacama, en la Provincia de Catamarca, República Argentina. El yacimiento se ubica a unos 3.900 metros sobre el nivel del mar, con una tasa de evaporación de 2.775 mm/año, y presenta concentraciones promedio de litio de 692 ppm con variaciones entre 500 ppm y 782 ppm.

En 1995, Foot Mineral Corporation (FMC) negoció los derechos de explotación del Salar, la producción de Litio comenzó en 1997-1998. Las reservas probables se estiman en 850.000 ton. de Litio a 70 mts de profundidad. La producción anual está en torno a las 12.000 ton. de carbonato de litio y 6.000 toneladas de cloruro de litio. Esto es usado por FMC como materia prima en sus propios negocios de litio químico. Las reservas se estiman que

alcanzaran para al menos 75 años a la tasa actual de extracción, la cual es de 5.000 ton. por año de litio metálico. Los costos unitarios totales se estiman entre US\$0,8 – 1,2/lb. (Yaksic, 2008).

### **Salar del Rincón**

Este salar está actualmente en proceso de desarrollo. Es la segunda salmuera de mayor importancia en Argentina. La tasa de evaporación bordea los 2.600 mm/año. Sus concentraciones son, sin embargo, menores que las del Hombre Muerto, alcanzando en promedio los 397 ppm, lo que hace incrementar sus costos, debido a su caída en productividad. Otro punto que hace la diferencia de calidad es la tasa de magnesio presente, casi 6 veces las del Hombre Muerto. Se estiman costos unitarios del orden de los US\$0,9 – 1,3/lb. (Yaksic, 2008).

En el 2008 se ha puesto en funcionamiento las plantas pilotos de producción de carbonato de litio, alcanzando una pureza del 99%<sup>66</sup>. A fines del 2008, el The Sentient Group adquirió el 100% de la propiedad.

En cuanto a las reservas actuales, no hay un consenso definitivo. Por una parte, Evans (2008) estima reservas por 1.400.000 toneladas de Litio. La USGS en su información sobre reservas de litio en Argentina, señala que no hay disponibilidad de información. En Tahil (2008) se hace referencia a estudios geológicos anteriores y a las propias declaraciones de inversiones de los controladores, donde se señalaba que las reservas eran del orden de las 250.000 ton. de lito.

Numerosos otros salares existen en Argentina, pero se desconoce el tamaño de sus reservas. Entre ellos se puede nombrar Antofalla, Olaroz, Cauchari, Pazuelos, Rotonoes, Centenario y Pastos Grandes. La empresa de capitales australianos y estadounidenses, Orocobre Limited, tiene actualmente dos proyectos en carpeta para la producción de carbonato de litio; por un lado, en el salar de Olaroz y South American Salars, que abarca 85.000 hectáreas en 10 salares del norte argentino.

Las exploraciones del salar de Olaroz están más avanzadas. Este es un salar mucho más pequeño que el de Rincón, pero con una alta concentración de Litio, en torno a los 900ppm. Se han proyectado reservas por 325.000 toneladas de litio. La tasa de presencia de magnesio no ha sido reportada. Se proyecta su funcionamiento para el 2011.

### **Salar de Uyuni**

Este es el salar más grande del planeta, abarcando una extensión de 9.000 km<sup>2</sup>. El salar se encuentra a una altitud de 3.653 metros sobre el nivel del mar.

Se estiman reservas por un total de 5.500.000 toneladas de litio. A pesar de contener la mayor reserva conocida de litio, presenta algunas limitaciones no menores, en comparación con el Salar de Atacama: Sus concentraciones son en promedio de 350 ppm; muestra una menor tasa de evaporación, de 1.500 mm/año; y altas tasas de magnesio presente, siendo de 22 veces las de litio. No obstante lo anterior, el Salar de Uyuni tiene un alto potencial económico, dada sus enormes reservas de litio.

---

<sup>66</sup> <http://www.petronews.net/noticia.php?&r=11609>.

Se ha argumentado que ha sido la inestabilidad política que ha vivido Bolivia en los últimos años, el principal factor que ha determinado la falta de inversiones para la explotación del salar, y no el potencial económico de las reservas.

En la actualidad, el gobierno boliviano está haciendo variados esfuerzos para atraer capitales extranjeros que le permitan explotar el salar de Uyuni. Eso sí, con la idea de que el Estado sea el controlador del negocio. De ese modo, se busca que el metal no sea exportado, sino procesado en el país bajo el modelo de una empresa pública. La nueva Constitución, aprobada en enero del 2009, puso en manos del Estado el control de los recursos naturales<sup>67</sup>.

En su afán de convertir a su país en productor de litio, el gobierno Boliviano invirtió US\$ 6 millones en la construcción de una planta piloto en el salar que podría comenzar a operar en el 2010 y que producirá 40 toneladas de carbonato de litio para exportación, lo que les reportará un ingreso estimado en 300.000 dólares anuales<sup>68</sup>. Además, el Gobierno también anunció que invertirá cerca de US\$ 150 millones en un proyecto para extraer mineral.

Para respaldar la apuesta que el actual gobierno Boliviano está impulsando, se anunció la construcción de un aeropuerto en Uyuni, a unos 220 kms. de Potosí, y que entraría en funcionamiento a principios del 2010.

La posibilidad de que el salar de Uyuni entre al mercado productor de litio ha sido ampliamente seguida por la prensa internacional. También se ha abierto una discusión entre los expertos del mercado del litio, en cuanto a los reales alcances de la capacidad productora del salar. El gobierno Boliviano habría anunciado la intención de estar produciendo cerca de 1.000 ton. de litio mensuales al 2013, lo que Tahlil (2008) puso en cuestionamiento, señalando que lo más realista, dadas las condiciones geológicas del salar, era estimar producciones de 2.000 ton. de litio anual desde el 2015 y 6.000 ton anuales desde el 2020 y cuestionó las reales magnitudes de las reservas, situándolas en 300.000 toneladas y no en 5.500.000 ton.

Más allá de este debate sobre las capacidades en la producción futura, lo que si queda en evidencia es la preocupación del Estado Boliviano para que el Salar de Uyuni entre prontamente al mercado, con las que se supone son las mayores reservas de Litio del mundo, y si bien, presentará costos unitarios mayores a los del salar de Atacama, el aumento creciente de los precios internacionales hará de todas maneras, rentable económicamente explotarlo<sup>69</sup>.

Por otra parte, al norte del salar de Uyuni, se encuentra el salar de Copiasa. Se sabe que las concentraciones están en torno a los 340 ppm., y presentaría reservas del orden de las 200.000 toneladas de litio. No obstante, el interés actual de Bolivia ha estado centrado en el desarrollo de proyectos en Uyuni, postergando para un futuro la explotación de Copiasa.

---

<sup>67</sup> Esta fue una de las razones por las que el gobierno Boliviano decidió suspender las largas negociaciones que, en los años noventa, se entablaron con la Lithium Corporation, que buscaba controlar esta fuente importante de Litio ([www.elpais.com](http://www.elpais.com), 07/02/2009).

<sup>68</sup> A septiembre del 2009, ya se anuncia un avance del 70%.  
[http://www.mch.cl/noticias/index\\_neo.php?id=20261](http://www.mch.cl/noticias/index_neo.php?id=20261)

<sup>69</sup> Recientemente la Corporación Minera Boliviana (COMIBOL) anunció una inversión de USD\$160.000 para realizar perforaciones que permitan conocer las reales dimensiones de reservas de Litio en el Salar. Más detalles en <http://www.lostiempos.com/diario/actualidad/nacional/20090803/comibol-perfora-el-salar-de-uyuni-para-conocer-reservas-de-28736-45785.html>

### **Clayton Valle**

Clayton Valle o Silver Peak, en Nevada, EE.UU, ha estado produciendo litio desde 1966. En la actualidad, es la única operación estadounidense en operación. Presenta una baja relación de magnesio/litio de solo 1,43 veces. Sus concentraciones de litio varían entre los 360 ppm y 100 ppm. de Litio. Y su tasa de evaporación alcanza los 900 mm por año.

En 1992, sus reservas se estimaron en 118.000 toneladas de litio. Su producción actual de carbonato de Litio es del orden de 9.000 ton. por año. Se estiman que tiene un remante de reservas económicas del orden de las 40.000 toneladas de litio (Evans, 2008).

Esta salmuera se ha mantenido competitiva por ubicarse en el mismo territorio norteamericano donde se encuentra integrada a la producción de carbonato e hidróxido de Litio. En particular la producción es utilizada internamente por Chemetall Corp., para suplementar su principal fuente de carbonato que es el Salar de Hombre Muerto (Tahil, 2008).

Yaksic (2008) ha estimado sus costos unitarios totales entre US\$1,0 -1,3/lb. de carbonato de litio.

Great Salt Lake, en Utah, es uno de los lagos más grandes del mundo. Si bien se han obtenido muestras de altas concentraciones de litio, su presencia es más bien irregular, alcanzando en promedio tan solo 40 ppm, lo que es muy bajo, y además con una alta razón de magnesio (250 veces), por lo cual en los principales reportes no es considerada como una reserva económicamente potencial.

En caso que su extracción se hiciese competitiva, este sería una fuente importante de litio, por cuanto se estiman recursos que alcanzan las 520.000 toneladas de litio. Yaksic (2008) estimó sus costos entre US\$2,2 – 2,8/lb.

### **CHINA**

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

Sin embargo, CITIC (agencia gubernamental china) está poniendo en funcionamiento el lago Taijanaier, en el que se han declarado reservas por 940.000 toneladas de Litio. Si bien sus concentraciones de litio no son particularmente altas, promedio 360 ppm, si cuenta a su favor la alta tasa de evaporación que llega a 3.560 mm/año.

En el 2004 inició un plan piloto de producción de carbonato e hidróxido de litio, de unas 500 toneladas anuales de litio equivalente. En el 2007, se inauguró oficialmente la planta de producción de carbonato de litio, con una capacidad de producción de 35.000 toneladas anuales. La producción actual se estima del orden de las 6.000 toneladas anuales. Sus costos unitarios totales se estiman entre los US\$ 0,8 -1,2 /lb. de carbonato de litio (Yaksic, 2008).

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

El lago Zhabuye es el más importante. Es considerado uno de los depósitos de mejor clase a nivel mundial. Se estiman reservas por 1.530.000 toneladas de litio (8,3 millones de toneladas de carbonato de litio). Presenta concentraciones altas de litio, que promedian los 1.200 ppm, con niveles muy bajos de magnesio, del orden del 0,008 mg/li. Una de las desventajas de este yacimiento sin embargo, es que se encuentra en una región muy remota, a casi 4.400 metros de altitud, lo que lo puede hacer económicamente interesante, solo para el mercado interno.

Se estiman que sus costos unitarios totales están en el rango de US\$0,8 – 1,2/lb (Yaksic, 2008).

El segundo lago en importancia en la meseta tibetana, es el Dangxiangscuo (DXC), el que muestra concentraciones promedio del orden de los 400 y 500 ppm y una tasa de magnesio sobre litio de solo 0,22. El lago también se ubica en los 4.400 mts. sobre el nivel del mar, y presenta una tasa de evaporación de 2.300 mm/año.

La extracción es atractiva desde esta perspectiva, pero el lago es un recurso pequeño, solo se estiman reservas por 170.000 toneladas de litio, lo que significa unas 900.000 toneladas de carbonato de litio. Tahil (2008) señala que si además se considera una tasa de recuperación del 50%, el total de producción de carbonato de litio que se podría esperar extraer del lago estaría en el orden de las 450.000 toneladas, es decir, tan solo 85.000 toneladas de litio.

No obstante lo anterior, la compañía canadiense Sterling Group está considerando explotar este recurso con una producción inicial de 5.000 toneladas por año. Yasik (2008) estima costos unitarios totales entre US\$0,8 -1,2/lb.

**Cuadro 6. Resumen Información Principales Salmueras de Producción de Litio.**

| País / Salar     | Concentración promedio de Li. (rangos ppm) <sup>a</sup> | Tasa de Evaporación | Costos unitarios Totales (US\$/lb) <sup>b</sup> | Producción Actual (ton de Carbonato de Litio) | Reservas Base A <sup>c</sup> (ton de Li.) | Reservas Probadas B <sup>d</sup> (ton. de Li.) |
|------------------|---|---------------------|---|---|---|--|
| <b>CHILE</b>     |   |                     |   |   |   |  |
| Salar de Atacama | 1.500 ppm. (600-5.000 ppm.)                             | 3.700 mm/año.       | 0.5 - 0.8                                       | 54.000  | 6.900.000                                 | 1.000.000                                      |
| Maricunga        | (400-1.500 ppm.)  | -                   | 1.0 – 1.5                                       | -   | 200.000*                                  | -  |
| <b>ARGENTINA</b> |   |                     |   |   |   |  |
| Hombre Muerto    | 692 ppm. (500-782 ppm)                                  | 2.775 mm/año.       | 0.8 – 1.2                                       | 15.000  | 850.000                                   | 400.000  |
| Salar del Rincón | 397 ppm.  | 2.600 mm/año.       | 0.9 – 1.3                                       | -   | 1.400.000                                 | 250.000  |
| Salar de Olaroz  | 900 ppm.  | -                   | -   | -   | 300.000                                   | 160.000  |
| <b>BOLIVIA</b>   |   |                     |   |   |   |  |

|                           |                     |                  |                |               |                   |                  |
|---------------------------|---------------------|------------------|----------------|---------------|-------------------|------------------|
| Salar de Uyuni            | 350 ppm.            | 1.500<br>mm/año. | 1.25 –<br>1.75 |               | 5.500.000         | 600.000          |
| Copiasa                   | 340 ppm.            | -                | -              | -             | 200.000*          | -                |
| <b>EE.UU.</b>             |                     |                  |                |               |                   |                  |
| Clayton Valle             | 360 ppm             | 900<br>mm/año.   | 1.0 – 1.3      | 9.000         | 40.000            | 118.000          |
| Great Salt Lake           | 40 ppm              | -                | 2.. – 2.8      |               | 520.000*          |                  |
| <b>CHINA</b>              |                     |                  |                |               |                   |                  |
| Taijanair                 | 360 ppm.            | 3.560<br>mm/año. | 0.8 – 1.2      | 5.000         | 940.000           | 500.000          |
| Zhabuye                   | 1.200 ppm.          |                  | 0.8 – 1.2      | 10.000        | 1.530.000         | 750.000          |
| Dangxiongscuo             | (400 – 500<br>ppm.) | 2.300<br>mm/año. | 0.8 – 1.2      | -             | 170.000           | 80.000           |
| <b>TOTAL<br/>SALMUERA</b> |                     |                  |                | <b>93.000</b> | <b>17.630.000</b> | <b>3.858.000</b> |

Fuente: Elaboración COCHILCO.

\*: valores no incluidos en la estimación de reservas + recursos.

a: Información promedio de concentración de litio, entre paréntesis cuando existe solo información disponible de rangos.

b: Costos unitarios totales de Yaksic (2008).

c: Estimaciones "optimistas" realizadas por Evans (2008, 2009).

d: Estimaciones "pesimistas" realizadas por Tahil (2008).

#### **ANEXO 4: Recursos y producción en la Minería.**

Como se señaló en el capítulo I, el litio está presente en una serie de minerales de la corteza terrestre, en particular el espodumeno. No obstante, su explotación fue dejada de lado con la entrada de SQM al mercado del litio en 1997, debido a que los costos de producir carbonato de litio a partir de minerales, son considerablemente más altos que los costos de obtener el carbonato de litio a partir de salmueras.

Los productores de minerales de litio se han volcado a comercializar los concentrados que siguen siendo competitivos en la industria del vidrio y la cerámica, siempre que el contenido de hierro sea bajo. También han sido utilizadas como materias primas para la producción de productos químicos de litio.

##### *Australia*

Las pegmatitas de Greenbushers en Australia, son actualmente los mayores recursos y de más alto grado en minerales de litio en el mundo. Las operaciones en Greenbusher son también las de mayor producción mundial de concentrados de espodumeno, el cual se destina al uso de vidrio y cerámica en altas temperaturas.

En el 2007 fue adquirido por Talison Minerals, y cuenta con una capacidad de producción de 150.000 toneladas por año de concentrado de espodumeno<sup>70</sup>. Se estiman recursos por 223.000 ton. de Litio (Evans, 2008).

Actualmente, la compañía Galaxy Resources estaría evaluando los depósitos de espodumeno en el oeste australiano (Mount Catlin). Se estiman reservas por 20.000 toneladas de litio, y la compañía espera comenzar la producción de carbonato de litio en el 2010. En Mount Marion, también en el oeste, se han reportado depósitos de litio con un total de reservas de 19.800 toneladas de litio, no obstante no existe actualmente ningún proyecto de explotación.

##### *EE.UU.*

Las operaciones en Carolina del Norte fueron cerradas con el desarrollo de las fuentes de bajo costos en el Salar de Atacama, pero podrían, frente a un aumento masivo de la demanda y por consiguiente de los precios, ser reactivadas (Evans, 2008).

Se estima que las reservas de las dos operaciones que quedaron detenidas a fines de los 80's (FMC y Foote Mineral) contendrían alrededor de 230.000 ton. de Litio<sup>71</sup>. No obstante, el promedio de las concentraciones de litio en estos depósitos es baja, de tan solo 70 ppm. La USGS no incluye estas reservas en sus estimaciones desde que fueron reemplazadas por la producción de Salmueras. No obstante, y dado los objetivos de política norteamericana de reducir la dependencia externa de litio, estos depósitos podrían ser re-abiertos, aun no siendo económicamente rentables.

Por otra parte, hay evidencias geológicas de presencia de recursos potencialmente recuperables que alcanzarían los 2,6 millones de toneladas de Li equivalente. El principal

---

<sup>70</sup> Los concentrados de espodumeno son producidos con un contenido de óxido de litio que varía entre 4,8% y 7,5%. La producción de carbonato de litio del espodumeno cesó en 1998 con la entrada a bajo costo de la producción de carbonato del Salar de Atacama.

<sup>71</sup> Tahil (2008) advierte eso sí que la producción de la planta de Foote (65% de las reservas) producirían Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a un 99,1%, lo que requeriría una nueva transformación a fin de alcanzar los 99,95% que utiliza una batería estándar.

problema asociado es que los recursos están a profundidades superiores a 1.500 mts., lo cual eleva los costos de producción<sup>72</sup>.

#### *China*

Evans (2008) señala que una estimación conservadora de las reservas pegmatitas de China alcanzarían las 750.000 toneladas de Li equivalente, siendo las de Jiajika las mayores reservas (un 64%). Gran parte de estas fuentes se destina a la producción química.

Tahil (2008) señala por su parte que los recursos de Jiajika no exceden las 6.000 ton. de litio metálico, y que incluso la producción China de Carbonato de litio se está desplazando desde el espodumeno nacional e importado a los recursos locales de salmueras.

SQM (2008c) señala que los proyectos en China para la producción de espodumeno está en pleno desarrollo, lo que podría llevar a un aumento en la producción en los próximos seis años en 15 mil toneladas anuales y que en el largo plazo (más allá del 2014) China debiera continuar con su crecimiento en la producción de Litio sobre la base de las reservas de espodumeno.

Finalmente, las reservas de Litio en pegmatitas ascenderían aproximadamente a 7,6 millones de toneladas (según las estimaciones de Evans, 2008). De las cuáles están actualmente en operación o planeadas, 840.000 toneladas, de las cuáles el 60% corresponden a minas ubicadas en China.

En cuanto a los costos de producción, la evidencia indica que los situados en el Salar de Atacama son los más bajos y que la producción de Pegmatitas es, evidentemente, una fuente más cara. No obstante, con los precios actuales del carbonato de litio doblando los precios que provocaron el cierre de la producción en América del Norte, es de esperar que en ningún caso decaiga la producción China de espodumeno, o bien se reabran algunos proyectos en EE.UU.

---

<sup>72</sup> Pavlovic (1992) muestra que los costos de producción del espodumeno en Carolina del Norte ascienden a US\$ 2,43 /kg, mientras que los del Salar de Atacama (SCL), eran de US\$1,10 /kg, todos expresados en USD de 1992. Lo anterior, significa costos de producción de estas reservas pueden ser doblemente costosas a las del Salar.

*Documento elaborado en la  
Dirección de Estudios y Políticas Públicas de COCHILCO por:*

**Camilo Lagos Miranda  
Economista**

**OCTUBRE 2009**