

**El desarrollo del litio en Chile: 1984-2012**  
**Gustavo Lagos C.C.**  
**Centro de Minería**  
**Pontificia Universidad Católica de Chile**  
**21 de agosto 2012**

**Contenido**

<b>1-</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>2-</b>	<b>Desde el yacimiento al uso final .....</b>	<b>2</b>
<b>3-</b>	<b>La determinación del precio .....</b>	<b>4</b>
<b>4-</b>	<b>La entrada de Chile en la industria del litio .....</b>	<b>7</b>
<b>5-</b>	<b>Recursos de litio .....</b>	<b>13</b>
<b>6-</b>	<b>Demanda.....</b>	<b>16</b>
<b>7-</b>	<b>Producción. ....</b>	<b>18</b>
<b>8-</b>	<b>El precio. ....</b>	<b>23</b>
<b>9-</b>	<b>Costos .....</b>	<b>26</b>
<b>10-</b>	<b>Valor agregado.....</b>	<b>28</b>
<b>11-</b>	<b>Investigación.....</b>	<b>29</b>
<b>12-</b>	<b>Tahil vs Evans.....</b>	<b>31</b>
<b>13-</b>	<b>Tahil y el futuro de las baterías .....</b>	<b>37</b>
<b>14-</b>	<b>La fusión nuclear .....</b>	<b>40</b>
<b>15-</b>	<b>El debate en Chile .....</b>	<b>42</b>
	<b>15.1- ¿Qué es un material estratégico? .....</b>	<b>43</b>
	<b>15.2- Informe Estratégico sobre el Litio de Cochilco .....</b>	<b>44</b>
	<b>15.3- Acontecimientos desde diciembre 2009 .....</b>	<b>45</b>
	<b>15.4- Licitación de CEOL .....</b>	<b>48</b>
<b>16-</b>	<b>Comentarios finales .....</b>	<b>54</b>
<b>17-</b>	<b>Agradecimientos. ....</b>	<b>57</b>
<b>18-</b>	<b>Referencias. ....</b>	<b>57</b>

## **1- Introducción**

Durante el Gobierno de Don Jorge Alessandri Rodríguez en 1962 la empresa minera norteamericana Anaconda que explotaba Chuquicamata, exploraba el Salar de Atacama en búsqueda de agua pero encontró, en cambio, agua salada. Al analizar el contenido químico del agua surgieron las primeras evidencias de la presencia de altas concentraciones de litio, potasio, magnesio y boro en dicho salar<sup>1</sup>. Muchos años más tarde se concluiría que este salar es el más importante yacimiento de litio en el mundo. El salar de Uyuni en Bolivia, ubicado a sólo doscientos cincuenta kilómetros de distancia, es de mucha mayor extensión y sus recursos de litio son más cuantiosos que los del Salar de Atacama, pero más caros de extraer.

El Salar de Atacama, de forma elipsoidal, con unos 85 kilómetros de largo en su dirección norte-sur y 50 kilómetros de ancho, está ubicado en la Región de Antofagasta, al sur oeste de San Pedro de Atacama, a 2.300 metros de altura sobre el nivel del mar, a 80 kilómetros de Chuquicamata y a unos 200 kilómetros de la ciudad de Antofagasta. El salar forma una inmensa planicie que contiene una costra blanca constituida por sales cristalizadas, principalmente sal común, en la mitad sur (núcleo salino), de alrededor de 1.400 km<sup>2</sup>. Esta costra, dura, resistente, con bordes dentados y muy fracturada, con un microrelieve de altura promedio de 0,7 m, sobre la cual se puede caminar con dificultad, superpone una masa salina porosa que ocluye las salmueras. Estas, ubicadas a un nivel freático de 0,5 m mínimo, están saturadas en cloruro de sodio conteniendo además otros elementos tales como magnesio, litio, potasio, y boro. Las aguas provenientes del río San Pedro y de otros cauces superficiales, así como subterráneos, arrastraron sales disueltas desde la cordillera y éstas se fueron acumulando al cristalizar por evaporación con el intenso sol del desierto y desde tiempos geológicos, generando las evaporitas (cloruros y sulfatos) junto a sedimentos clásticos en esta cuenca tectónica y cerrada. La profundidad del cuerpo salino central supera los 400 metros, pero la mayor porosidad se encuentra en los primeros 30 a 40 metros, disminuyendo en forma exponencial con la profundidad.

Durante la exploración de agua Anaconda perforó la costra del salar y encontró lo que parecía agua. Al observar el líquido extraído, sin embargo, se aprecia rápidamente, que este es denso y que contiene sales disueltas. A estas se les denomina salmueras. De aquí parte la historia del litio en Chile, gatillada por una búsqueda cerca de la superficie de otra sustancia, como tantos de los descubrimientos mineros en el pasado. Sin descartar que ello pueda ocurrir nuevamente, la historia más reciente demuestra que dichos hallazgos son cada vez menos frecuentes ya que la mayoría de los depósitos minerales cercanos a la superficie ya se habrían encontrado<sup>2</sup>.

## **2- Desde el yacimiento al uso final**

A diferencia de otros metales, el mercado del litio está altamente segmentado ya que la producción de minerales de litio puede ser usada directamente en algunas aplicaciones, sin pasar por la producción de carbonato, hidróxido, cloruro de litio, o litio metálico. Por ello, a diferencia de otros metales, hay una relación cercana entre los tipos de yacimientos y el uso final.

---

<sup>1</sup> Cuando el agua contiene altos contenidos de sales de diversos elementos se le denomina salmuera.

<sup>2</sup> Comunicación personal del Geólogo Francisco Camus.

El carbonato de litio constituyó el producto más importante en volumen a través de la breve historia de esta industria, con las pegmatitas en el segundo lugar, el hidróxido en el tercero, y el cloruro en el cuarto. El litio metálico constituyó desde el inicio de la industria, hasta 1% de la producción total. No tenía, ni tiene sentido llegar a litio metálico para producir la mayor parte de los materiales que requería la industria. Por ello, sin duda, el precio del litio metálico fue siempre sumamente alto a pesar que bajó desde más de 400 dólares (moneda de 2010) por kilo en 1945 (Roskill 1984) a algo más de 60 dólares (moneda de 2010) por kilo en 2008 (Roskill 2009).

Antes de 1966, en que entró en producción el Salar de Silver Peak en Clayton Valley, Nevada, prácticamente toda la producción de litio provenía de yacimientos de pegmatitas<sup>3</sup>. Ello cambió radicalmente con la entrada en producción de los salares en Chile y Argentina, y en 2000, un 78% de la producción provenía de salares. En 2008 (Roskill 2009) dos tercios de la producción en forma de químicos de litio, provenía de sólo cuatro salares<sup>4</sup>, y la restante producción, en forma de concentrados minerales, principalmente espodumeno, provenía de yacimientos pegmatíticos, destacando el de Greenbushes en Australia Occidental, de propiedad de Talison Lithium. El resto de ellos son bastante pequeños y distribuidos en muchos países (Canadá, China, Portugal, Brasil, Zimbabwe, Uzbekistan, entre otros). La situación había cambiado dramáticamente en 2011 debido a la entrada, en 2006, de Talison Lithium de Australia, que impulsó un fuerte aumento de la capacidad de producción de concentrado. Con el ingreso de Galaxy Resources al mercado en 2010 Australia alcanzaría a Chile en 2011 en producción de litio.

En el futuro, una parte importante de la producción de litio podría provenir de arcillas, de salmueras geotérmicas, petrolíferas, y de jadaritas. Los minerales arcillosos que contienen litio son las hectoritas y las jadaritas (Evans 2008). Los minerales de pegmatita son el espodumeno, la petalita, ambos silicatos de litio y aluminio, y la lepidolita y amblygonita. Estos minerales se utilizan, fundamentalmente, para la fabricación de vidrios siempre que contengan bajas cantidades de hierro. En China se utilizan también para fabricar productos químicos de litio (Evans 2008). Los minerales de litio se usan, asimismo, para la producción de hidróxido de litio, con el que se fabrica grasas lubricantes, baterías y derivados inorgánicos. El hidróxido de litio es producido, igualmente, a partir de carbonato de litio proveniente de salmueras.

Las salmueras son la materia prima principal para producir carbonato de litio de diversos grados de pureza, con los que se fabrican baterías, productos farmacéuticos, aleaciones, y cerámicas y vidrios. El cloruro de litio se puede producir directamente desde las salmueras, como ocurre en las plantas del Salar de Hombre Muerto, y en el Salar de Atacama. A pesar que el cloruro tenía, de acuerdo a Roskill (2009), sólo el 1% del mercado de la industria a nivel global, era la base para la fabricación de sistemas de dehumificación, de litio metálico, y de butyl litio, por lo que su mercado primario debería aumentar a cerca de 5% del total. El butyl litio se utiliza para la fabricación de goma sintética, polímeros y derivados orgánicos. Finalmente, el litio metálico se utiliza para la fabricación de baterías primarias o pilas, no recargables, y aleaciones de aluminio litio para la industria espacial o aeronáutica.

---

<sup>3</sup> La excepción fue la pequeña cantidad de productos de litio que se produjo por varias décadas antes en el Salar de Searles Lake en California.

<sup>4</sup> Atacama (Chile), Hombre Muerto (Argentina), Silver Peak (EEUU), y uno o varios salares en China.

### **3- La determinación del precio**

Al igual que los metales y recursos naturales no renovables, el litio se rige por las mismas leyes económicas de la oferta y de la demanda. El comienzo de la industria del litio a nivel global fue similar al surgimiento de otras industrias metálicas en la historia. Después del descubrimiento del litio a principios del siglo XIX, comenzaron a surgir lentamente las primeras aplicaciones del litio. Ello se puede comprender debido a que los yacimientos del metal no eran conocidos y a que los métodos de extracción y procesamiento no se habían desarrollado.

Si bien el litio metálico es un commodity, la gran variedad de formas de presencia del litio en la corteza terrestre, de métodos de producción para extraer el litio, y de sus usos, establece una fuerte segmentación de los mercados de este metal, lo que lo diferencia de los metales de grandes mercados como el cobre, el aluminio, el hierro y el oro. El mayor mercado del litio en 2008 era el carbonato de litio (40%), seguido por los minerales de litio (24%), el hidróxido de litio (13%), el bromuro de litio (5%), el butyl litio (3%), y el litio metálico y el cloruro con un 1% cada uno (Roskill 2009). En 2012, el carbonato había aumentado su uso a 54% del mercado mundial<sup>5</sup>.

Por otra parte, la fijación del precio de los productos de litio, también surgió en forma similar al de otras industrias de metales. Con sólo dos compañías productoras de litio de cierta importancia, ambas de propiedad norte americanas hasta la década de 1990, el precio de dichos productos lo establecían estas compañías, y las compañías más pequeñas se alineaban con estos precios. En numerosos momentos de la breve historia del litio, sin embargo, las compañías mayores establecieron precios que eran considerablemente distintos entre sí.

El precio de productores utilizado por las compañías de litio es uno de los cuatro métodos usados para fijar el precio de los metales (Strauss 1986). Los otros tres métodos son, primero las bolsas de metales, tales como la Bolsa de Metales de Londres (LME), o el Commodity Exchange de Nueva York (COMEX). Segundo, precios negociados directamente entre productores y compradores, tales como los usados en contratos de concentrados de cobre. El último método son precios citados por una institución independiente de alto prestigio en forma periódica, y al que los productores y compradores se atienen. Algunas industrias utilizan varios de estos métodos simultáneamente. Strauss daba como ejemplo al plomo, el que era vendido en los 80 en Europa a precios del LME, en Japón la mayoría de las ventas se hacían a precio productor, en los Estados Unidos las ventas se realizaban con referencia a Metals Week, una revista de alta reputación en los mercados minerales.

Hay que diferenciar el precio de productores con el precio establecido por carteles, monopolios y oligopolios. Strauss cita como monopolios el nitrato (salitre) chileno a principios del siglo XX, y la criolita producida en Groenlandia<sup>6</sup> en la década de 1980. En ambos casos dichos países controlaban más de la mitad del mercado, fijaron precios mucho mayores que los que habrían correspondido a mercados competitivos (Wagner 2005), y en ambos casos se desarrollaron

---

<sup>5</sup> Comunicación personal D. Desormeaux, SignumBox, Santiago, Chile.

<sup>6</sup> Según Wikipedia la criolita es un fluoruro de aluminio y sodio ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). En estado natural se encuentra en Ivittuut (Groenlandia). Su importancia proviene de su facilidad de disolver el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ); por esta razón se emplea fundida como fundente de la alúmina en la obtención de este metal por electrólisis. Las grandes cantidades de este mineral utilizadas en la industria no pueden ser obtenidas de los yacimientos naturales, por esto se produce artificialmente a partir de sales de aluminio y ácido fluorhídrico.

sustitutos sintéticos, los que dejaron fuera de mercado a los minerales originales. La mina Ivittuut cerró sus operaciones en 1987 a raíz de que el proceso para producir criolita sintética era más barato que extraerla de la mina. Durante la segunda guerra mundial los Estados Unidos ocupó Groenlandia principalmente para asegurar el abastecimiento de criolita para la producción de aluminio.

En el caso de los oligopolios, unas pocas compañías que dominan el mercado, Strauss citaba los ejemplos de las industrias del aluminio, el níquel y el molibdeno después de la segunda guerra mundial. En los tres casos las compañías que dominaban estas industrias aplicaron férreo control sobre los precios, imprimiendo estabilidad y lógica económica a los mercados. Estos criterios se pueden definir en base a, proporcionar un adecuado retorno a los productores, y mantener el precio suficientemente bajo para permitir la expansión de la demanda, penetrando la oferta de otras industrias y generando la sustitución. De acuerdo a Strauss, estas políticas fueron altamente exitosas y permitieron al aluminio, por ejemplo, que su demanda creciera el doble que la del cobre entre 1950 y 1973, reemplazando muchos de los usos que este tenía. Las variaciones de precio que estas industrias introducían año a año estaban mayormente relacionadas con los cambios en los costos de producción.

En 1978 la Bolsa de Metales de Londres comenzó a transar el aluminio, y en 1979 el níquel. Estos metales dejaron de tener la estabilidad de precio de la que gozaban y pasaron a tener, en cambio, una alta volatilidad, la que retienen en la actualidad, junto a los commodities minerales transados en bolsa. La introducción de transacción de futuros en años posteriores a 1980 exacerbaría aún más la volatilidad del precio de estos commodities (Strauss 1986). El precio del hierro era fijado anualmente por tres compañías hasta 2010, Vale, Rio Tinto y BHPBilliton. Ya en 2005, sin embargo, muchos compradores usaban el precio spot de este metal por lo que la volatilidad del precio había aumentado a niveles que superaban la volatilidad de los precios del aluminio y del cobre. La crisis global de 2008 cambió esto ya que el precio spot del hierro se ubicó por bajo el precio anual fijado por los tres grandes, por lo que los fabricantes de acero de China eligieron transar con base al precio spot. Por ello el precio "Benchmark" anual establecido por las tres grandes colapsó y se llegó a acuerdo para instaurar un precio trimestral basado en el precio spot, mucho más transparente y ajustado a las condiciones de oferta y demanda (Lagos 2012).

Por su parte el oro, cuyo precio fue fijado por los Estados Unidos hasta 1974, paso a ser fijado por el mercado a partir de dicho año, ocurriendo, también, una mucho mayor volatilidad desde entonces.

Respecto a los carteles, muy pocos han sido exitosos durante toda su historia, los diamantes constituyendo tal vez el caso más prolongado de éxito. Algunos carteles han tenido éxito en algunos períodos y han fracasado estrepitosamente en otros períodos, los más largos. El cartel del petróleo es un ejemplo de éxitos cortos y fallas prolongadas. Los países de la OPEC tenían el 81% de las reservas mundiales en 2010, y producían el 42% del petróleo del mundo en el mismo año. Los países de la OECD tenían el 3,7% de la reservas del mundo en 2010 y producían el 19% del petróleo mundial. Tal como plantea Radetzki (2012) los altos precios del petróleo se explican por la falta de capacidad técnica y financiera de algunos países miembros de la OPEC de aumentar su capacidad de producción en los últimos 40 años. Efectivamente, Irán, Iraq, Libya y Venezuela tenían el 44% de las reservas petrolíferas probadas en 2011 y, sin embargo, su capacidad de producción era considerablemente inferior a la que tenían en 1970. La pérdida de capacidad de producción de estos países en 40 años fue equivalente al consumo total de la Unión Europea.

Arabia Saudita, uno de los países de la OPEC, fue el único gran productor de dicho conglomerado que aumentó su capacidad de producción en los últimos 40 años. Kuwait y los Emiratos Arabes Unidos también aumentaron su capacidad de producción en este periodo. El comportamiento de los cuatro países mencionados, Irán, Iraq, Libya y Venezuela, se explica por su gran voracidad por gastar los recursos del petróleo sin reinvertir. El resultado en términos de ingreso per cápita logrados por Irán, Iraq, Lybia y Venezuela después de cuatro décadas de despilfarro es paupérrimo: 4.700, 3.900, 11.300 y 10.200 USD per cápita, respectivamente<sup>7</sup>.

En el caso del cobre, hubo varios carteles en la historia, uno de ellos exitosos durante los años 1930 (Guzmán 2007). El cartel del CIPEC iniciado como copia de la OPEC en los años 70 fue extremadamente infectivo durante toda su historia y finalmente se disolvió durante la década de los 90.

El comportamiento de precios fijados por la industria del litio durante su breve historia, fue muy distinto al de algunos carteles, que pecaron de la ilusión que podrían derrotar a los mercados. El ejemplo clásico de estos últimos es el Acuerdo Internacional del Estaño (ITA<sup>8</sup>) creado en 1956 e integrado por varios países en desarrollo con severos problemas económicos que deseaban estabilizar el precio del metal con objeto de contar con ingresos asegurados (Strauss 1986). Otra característica de este mercado era que los principales productores eran países en desarrollo, Tailandia, Malasia, Indonesia y Bolivia, mientras los países industrializados no contaban con producción significativa del metal.

Al mismo tiempo que operaba ITA, el estaño se cotizaba en la Bolsa de Metales de Londres (LME). Dicho acuerdo incluía también a países consumidores. ITA estaba basado en cuotas de exportación de países productores y en la creación de un fondo común que permitía tener un inventario para almacenar estaño en tiempos de bajo precio, evitando la caída del precio bajo los límites que se había fijado el ITA. El aspecto relevante es que ITA comenzó a operar en 1956 con los precios de mercado, 10 años después tenía aún precios comparables con el cobre pero ya se había elevado un 70% por sobre el precio de otros commodities, tales como el zinc. En 1976 el precio del estaño se había elevado 125% por sobre el precio del cobre, tomando como referencia el cociente de precios de 1956. En 1978 el precio del estaño era 210% el del zinc y 356% superior al del cobre. En 1980 el precio del estaño comenzó a bajar en los mercados en forma sistemática, e ITA no pudo detener la caída. Además, debido al alto precio del estaño numerosos yacimientos fueron desarrollados en otros países que no eran miembros de ITA, entre ellos Brasil, Canadá, y China. Durante la crisis económica mundial de 1981-1982 el consumo de estaño bajó, pero después no se volvió a recuperar como ocurrió con otros metales. Strauss comenta que en la discusión del informe Paley, ordenado por los Estados Unidos en 1952, se concluyó que el metal con menos crecimiento en el consumo entre 1950 y 1973 fue el estaño. Entre 1973 y 1985 el consumo de estaño en los países industrializados se redujo en 25%. Por ello el esfuerzo de ITA para evitar la caída del precio se hizo imposible en 1985 ya que el inventario generado era muy grande y se terminó el fondo común. El mercado del estaño se derrumbó, dejando a los países productores en severas dificultades, Bolivia entre ellos. Strauss indica que durante los 29 años que duró el ITA, nunca hubo una reducción de precio. Los países en desarrollo presionaron por incrementar el precio en forma constante para poder contar con las divisas que necesitaban. El resultado fue que el precio fue tornándose cada vez menos realista, hasta que el mercado colapsó.

---

<sup>7</sup> OPEC Annual Statistical Bulletin, 2010-2011.

<sup>8</sup> International Tin Agreement.

El escenario de unas pocas compañías dominando la producción mundial de litio puede ser categorizado como oligopolio. En 2008 el 85% de la producción mundial la generaban sólo cuatro compañías, Chemetall de origen alemán, recientemente adquirida por la empresa Rockwood de los Estados Unidos, la Sociedad Química y Minera de Chile, Soquimich (SQM), FMC<sup>9</sup> Lithium Division (ex Lithco), y Talison de Australia (Metal Bulletin 2009).

Más adelante analizaré el precio del carbonato de litio, como producto insignia, desde 1966 hasta tiempos presentes, con objeto de establecer las políticas de utilidades que persiguieron el puñado de compañías mayores de esta industria.

#### **4- La entrada de Chile en la industria del litio**

A raíz del hallazgo de la Compañía Anaconda en 1962, el Ministerio de Minería<sup>10</sup> encargó al entonces Instituto de Investigaciones Geológicas en 1969 la realización de un estudio sobre el Salar de Atacama (Pavlovic, 1990). Dicho estudio fue realizado por A. Moraga, G. Chong, M.A. Fortt y H. Henríquez y fue publicado en 1974 en el Boletín del Instituto de Investigaciones Geológicas (Moraga et.al., 1974), y habría sido el hito clave que establecía el potencial del Salar en cuanto a litio. Muchos estudios adicionales se iniciaron por parte de Corfo a partir de 1970, incluyendo estudios de la geología, hidrología, climatología y mineralogía del salar, y confirmando las excelentes condiciones que tenían las salmueras del Salar de Atacama para producir litio a un costo inferior a los depósitos de salmuera de los Estados Unidos (Pavlovic 1990). En 1974 el Gobierno estableció el Programa de Sales Mixtas en la Corfo, el que posteriormente se transformó en el Comité de Sales Mixtas.

La Foote Minerals Company, que había tomado conocimiento de este nuevo yacimiento, llegó a Chile, confirmando con mediciones propias las altas concentraciones de litio. En 1975 se estableció el primer convenio base con el Gobierno de Chile, el que permitió a Foote realizar exploraciones y estudios de factibilidad para la producción de litio en el Salar. Foote tenía la experiencia de la explotación del Salar en Clayton Valley, Silver Peak, Nevada, pero la constitución de las salmueras de este salar<sup>11</sup> era muy distinta de las del salar de Atacama<sup>12</sup>, ya que estas últimas podían ser cristalizadas con procesos de evaporación menos costosos. La tecnología utilizada por Foote en Silver Peak para extraer carbonato de litio de las salmueras había sido desarrollada por la misma Foote, y en parte por la American Potash Corporation (APC), en Searles Lake en California desde 1938 (Kunasz, 1986). Además Foote desarrolló numerosas investigaciones que la llevaron a transformarse en la empresa líder en extracción de salmueras y en la fabricación de distintos compuestos de litio ya que tenía los métodos de producción más baratos. El litio extraído desde Searles Lake no era significativo pero dio lugar a la búsqueda de litio en el salar de Silver Peak por parte de Foote. Con su llegada a Chile Foote consolidó su liderazgo en la extracción de litio a partir de salmueras.

---

<sup>9</sup> FMC Corp (Lithco) era antes Food Machinery and Chemical Corporation, y no debe ser confundida con Foote Mineral Company, cuya abreviación también es FMC.

<sup>10</sup> El Ministro Eduardo Simian.

<sup>11</sup> Bajo contenido de litio, 200 a 300 partes por millón (ppm).

<sup>12</sup> Contenido promedio de 1500 ppm.

En 1977 el Gobierno creó el Comité de Sales Mixtas el que tendría una vida de tan sólo 10 años y un rol fundamental en el desarrollo temprano del litio en Chile.

El descubrimiento generaba entusiasmo entre técnicos e ingenieros chilenos. Por ello comenzaron a llegar a Corfo ya a fines de los 60 varios profesionales que serían clave en el desarrollo de la industria. Pedro Pavlovic, Ingeniero Civil Químico de la Universidad Técnica del Estado 1968, M.Sc. de la Universidad de Loughborough, Inglaterra, 1973, llegó a Corfo en 1968. Al año siguiente llegó Felipe Vergara, Ingeniero Civil Químico de la Universidad de Chile. Los Departamentos de Ingeniería Química de estas universidades estudiaban la cristalización de sales mediante evaporación solar y otras técnicas, proceso utilizado para recuperar litio y otros metales del salar. En 1976 se incorporó Eduardo Morales, también Ingeniero Civil Químico de la Universidad Técnica del Estado, el que se quedaría en el CSM hasta 1983 cuando se fue a trabajar a SCL, llegando a ser Gerente General de esta. Martín Laborde, Ingeniero Civil Químico de la Universidad Federico Santa María, dirigió el Programa de Sales Mixtas (PSM) de Corfo desde su inicio en 1974, el que se transformaría en 1977 en el CSM. Durante los 80 Laborde emigró a otras industrias. Nancy Parada, Ingeniero Civil Químico de la Universidad de Chile, especialista en procesos, se incorporó al PSM en los 70 y permaneció ahí hasta el fin de este Comité, después de lo cual se trasladó a otras áreas de Corfo. También se unió al grupo Fernando Ide, Ingeniero Civil de Minas de la Universidad de Chile. En los años 90 entrarían otros profesionales que forman parte en la actualidad del selecto grupo de expertos de esta industria. Patricio de Solminihac, Vicepresidente Ejecutivo de SQM, es uno de ellos. Nombro a siete de los más destacados y más antiguos ingenieros, del comienzo de la industria del litio en Chile con el riesgo cierto de dejar fuera a destacados profesionales.

A diferencia de la industria del cobre, la que requería varios miles de profesionales al momento de la nacionalización, la pequeña industria del litio en Chile surgió con el apoyo experto de un grupo de no más de 20 chilenos, sumados a los ingenieros y geólogos de las dos compañías norteamericanas, Foote y Amax.

En 2012 algunos de estos profesionales siguen activos en la industria del litio. Nuevos profesionales de gran valía se incorporaron a la industria en estos años, los que trabajaban fundamentalmente en las dos empresas que producen litio en Chile. La constante es que el grupo de profesionales expertos en litio en Chile sigue siendo un pequeño grupo de no más de 20 a 30 personas.

El 22 de Octubre de 1979 se promulgó el Decreto Ley 2.886 el que declaraba al litio como un recurso del Estado<sup>13</sup> debido a su potencial uso en reactores de fusión nuclear y al interés de las potencias mundiales para construir bombas termonucleares. Con ello Chile seguía la política de Los Estados Unidos en relación al litio después de la segunda guerra mundial. Este Decreto fue la culminación de un proceso que había comenzado en 1965 con la creación de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN, cuya Ley (Nº 16.319) establecía que la exploración y explotación de material atómico natural, o utilizable para la producción de energía nuclear “no podrían ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos sino cuando ellos se ejecuten o celebren por la CCHEN, en conjunto con esta o con su autorización previa”. En 1975 se dictó un reglamento de “Términos Nucleares” que indicaba que el litio era un material de interés nuclear aun cuando no se hallaba reservado al estado, sino de “libre denunciabilidad” (Aserta Consultores 2010). En 1976 el Decreto

---

<sup>13</sup> El artículo 5 indicaba “Por exigirlo el interés nacional, desde la fecha de vigencia de este decreto ley, el litio queda reservado al Estado.”



Ley 1.557 modificó la Ley de la CCHEN, indicando, entre otros aspectos, que la CCHEN podía expropiar, a su favor, los materiales de interés nuclear una vez extraídos.

El Decreto Ley N° 2.886 indicaba “Deja sujeta a las normas generales del Código de Minería la constitución de pertenencia minera sobre carbonato de calcio, fosfato y sales potásicas, reserva el litio a favor del Estado e interpreta y modifica las leyes que la señalan”. En su artículo 5 esta ley establece que: “Por exigirlo el interés nacional, desde la fecha de vigencia de este decreto ley, el litio queda reservado al Estado. Se exceptúa de lo dispuesto en el inciso anterior solamente: a) El litio existente en pertenencias constituidas, sobre litio o sobre cualquiera de las sustancias del inciso primero del artículo 3° del Código de Minería, que, a la fecha de publicación de este decreto ley en el Diario Oficial, tuvieren su acta de mensura inscrita, se hallaren vigentes, y cuya manifestación, a su vez, haya quedado inscrita antes del 1° de Enero de 1979.

El artículo número 6 del DL 2.886 indicaba las razones de esta resolución claramente<sup>14</sup>: “Por exigirlo el interés nacional, los materiales atómicos naturales y el litio extraídos y los concentrados, derivados y compuestos de aquéllos y éste, no podrán ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos sino cuando ellos se ejecuten o celebren por la Comisión Chilena de Energía Nuclear, con ésta o con su autorización previa. Si la Comisión estimare conveniente otorgar la autorización, determinará a la vez las condiciones en que ella se concede. Salvo por causa prevista en el acto de otorgamiento, dicha autorización no podrá ser modificada o extinguida por la Comisión ni renunciada por el interesado”.

Según Aserta Consultores (2010), la dimensión estratégica del uso del litio ganó fuerza durante el régimen militar, en medio de una carrera armamentista global, en que la bomba termonuclear representaba el “estado del arte” y los reactores de fusión nuclear se consideraban en un horizonte viable (Chilenskis et.al., 1976).

¿Cómo se insertaría esta normativa en la Constitución de 1980 y en el Código de Minería de 1983?

Según José Piñera (José Piñera 1981, reeditado en 2002) “el país tenía hasta 1971 un determinado orden jurídico en este campo, consagrado en el Código de Minería de 1932. Sin embargo, la Reforma Constitucional de 1971, además de nacionalizar la Gran Minería del Cobre, debilitó gravemente el derecho de propiedad minero. La Constitución de 1980 mantuvo el postulado introducido en 1971 de que el Estado tenía el dominio absoluto, exclusivo, inalienable e imprescriptible de todas las minas, pero agregó que la naturaleza precisa de la concesión minera sería materia de una ley orgánica constitucional, figura jurídica inédita en nuestro ordenamiento legal”.

Más adelante señala “Pues bien, ayer 1° de Diciembre, la Honorable Junta de Gobierno ha aprobado la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras<sup>15</sup>, después de que el Tribunal Constitucional respondiera en forma unánime dos consultas claves sobre ella. Dentro del marco de la Constitución, el legislador ha aprobado un derecho de concesión vigoroso que se ha llamado la concesión plena. Con la concesión plena termina una década de incertidumbre en los derechos

---

<sup>14</sup> derogando el artículo número 8 de la Ley 16.319 de 1965 que había creado la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

<sup>15</sup> Ley 15.242 conocida como el Código de Minería, votada por la Junta de Gobierno el 1 de diciembre de 1981 y publicada en el Diario Oficial el 16 de febrero de 1982.

mineros.”

La Ley del litio de 1979, de acuerdo al razonamiento de José Piñera (José Piñera 1981, Edición revisada en 2002) cumplía con lo establecido en la Constitución de 1980 en el sentido que había varias excepciones para la concesibilidad. Una de ellas era lo establecido por la reforma constitucional de la nacionalización del cobre, una segunda era la adquisición de una concesión por parte del Estado, una tercera era establecer la no concesibilidad, y una cuarta debido a la declaración de importancia para la seguridad nacional. El litio calificó en las categorías tercera y cuarta.

Al mismo tiempo, muchos juristas refutaron esta interpretación, pero ella, en definitiva, perduró y ha sido aplicada en Chile desde esa época.

Ya en 1977 la Corfo, involucrada en el litio mediante el Instituto de Investigaciones Geológicas, había solicitado y obtenido 59.820 pertenencias mineras en el Salar de Atacama. Posteriormente renunció a 27.052 de ellas, quedando sólo con 32.768 las que mantiene hasta la actualidad (Aserta Consultores 2010). También en 1977 Codelco había obtenido las pertenencias Ana María en el Salar de Pedernales y otras en el Salar de Maricunga, ambos ubicados en la región de Atacama. De los 15 salares en que se conoce presencia de litio en Chile, el Salar de Atacama es el de mayor extensión, casi 10 veces más grande que el que le sigue, el de Pedernales, y 20 veces más grande que el de Maricunga, que es el cuarto de mayor extensión. Además el Salar de Atacama tiene mayor concentración de litio que el resto de los salares en Chile y está a menor altitud lo que favorece el proceso de evaporación solar, mediante el cual se concentran las sales de litio. El resto de los 15 salares son: en la región de Atacama, los salares La Isla, Aguilar, Las Parinas. En la región de Antofagasta están los salares de Punta Negra, Aguas Calientes 2, Aguas Calientes 1 y Aguas Calientes 4, Pajonales, Quisquiro o de Loyoques, Tara, Pujsa, y Capur.

En 1979 se confirmó la posibilidad de producir carbonato de litio en forma económica en el Salar de Atacama, a raíz de lo cual el 13 de agosto de 1980 el Coronel Rolando Ramos, Vicepresidente Ejecutivo de Corfo y el Presidente del Directorio de Foote William Walsh, firmaron la constitución de la Sociedad Chilena de Litio (SCL) con un 45% de propiedad de Corfo y un 55% por parte de Foote (Corfo, 1982). En 1988 Corfo vendería el 25% de su participación a Foote, y en 1989, el 20% restante, quedando Foote con el 100% de la propiedad de SCL. En esa época el Estado de Chile no tenía recursos frescos para colocar en SCL por lo que Corfo colocó la fracción del Salar de Atacama<sup>16</sup> que asignaba a SCL como pago por el 45% de las acciones. Ello consistió en 3.343 pertenencias de un total de 32.768 que tenía en el Salar. De esta manera Foote obtuvo un trato ventajoso por la explotación del litio en el Salar a cambio de instalar la tecnología que había desarrollado y que era exclusiva en ese entonces. Tampoco se le cobró un Royalty, como sería asignado a Amax unos años después.

La creación de SCL contenía el convenio que estableció las condiciones de explotación del litio. Corfo asignó a SCL una cuota de producción tope de 200 mil toneladas de litio contenido o equivalente, en la forma de productos del metal<sup>17</sup>, y le asignaba exclusividad en la producción de litio en el Salar de Atacama durante un período de 8 años (CSM Corfo, 1980). La Comisión Chilena

---

<sup>16</sup> 16.720 hectáreas ubicadas en la parte sur del Salar.

<sup>17</sup> Los productos más demandados por el mercado a partir de salmueras eran en esa época el carbonato de litio, el cloruro de litio y el hidróxido de litio.

de Energía Nuclear, CCHEN, autorizó a SCL para vender diversos productos, excepto aquellos que pudieran ser destinados a la producción de energía por fusión nuclear (Cochilco 2009).

A agosto 2011, SCL había extraído 70 mil de las 200 mil toneladas asignadas, pero con el aumento de producción planificado a 13 mil toneladas anuales de litio contenido, la vida del contrato original sería hasta 2021 (Morales 2011).

La puesta en marcha de la planta de SCL significó una inversión del orden de 54 millones de dólares (Pavlovic, 1990) e inmediatamente Chile se colocó en una posición relevante en la industria mundial del litio. El proceso de producción consistía en un sistema de pozas de evaporación solar, ubicadas en el mismo Salar de Atacama, y una planta química en la Negra, localidad ubicada a unos 15 kms al sureste de Antofagasta, para procesar la salmuera y producir carbonato de litio.

Ya desde 1975 la Corfo había realizado estudios dirigidos a analizar la viabilidad de explotar otros recursos del Salar, el potasio y el boro, lo que dio lugar a la idea de realizar un segundo proyecto de explotación del litio, pero esta vez acompañado de la explotación de los otros elementos mencionados. La compañía Saline Processors Inc. fue asesora en estos estudios y clave a la hora de definir las tecnologías más adecuadas.

A raíz de ello Corfo licitó en 1983 un proyecto internacional para producir sales potásicas, ácido bórico y litio (Pavlovic, 1990). Dichas sales pueden ser consideradas como subproducto de la producción de litio, y también este puede ser considerado un co producto de la producción de dichas sales<sup>18</sup>.

Las bases de licitación de 1983 establecían en su cláusula 5.5.6 titulada "Investigaciones sobre usos del litio": "El adjudicatario, siempre que produzca sales de litio, deberá pagar a Corfo el 0,80 % sobre el valor bruto de venta de estas sales para colaborar al financiamiento de investigaciones sobre el litio en el país".

En comunicación personal con Pedro Pavlovic en junio de 2012 el me indicó: "Por Acuerdo N° 969 de 1984, la Comisión Chilena de Energía Nuclear recomendó que, con el objeto de incrementar el valor agregado del litio que se extraiga del Salar de Atacama, la sociedad a formar entre Corfo, Amax y Molymet se comprometa a contribuir con aportes anuales al financiamiento de un Centro de Investigaciones de Litio. Acogiendo dicha recomendación, el Contrato Base que dio origen a MINSAL en 1986 estipuló en la Cláusula "Normas especiales sobre el litio" (Décimo Sexta, punto V) que la contribución de la sociedad al financiamiento de los planes de investigaciones del litio, estará comprendida dentro de la suma de regalías (6,8%) que se pagarán a Corfo por la venta de productos de litio, establecidas en el Contrato de Arrendamiento".

"La misma recomendación y compromiso señalados en el Acuerdo N°969 de CCHEN fueron mantenidos en el Contrato para el Proyecto en el Salar de Atacama (Cláusula Décimo Cuarta), suscrito el 12.11.93 entre Corfo y SQM" (Comunicación personal Pavlovic 2012).

---

<sup>18</sup> El proceso de producción de litio a partir de salmueras consiste en evaporar, en forma natural, las salmueras depositadas en grandes piscinas. Durante cada etapa de evaporación cristalizan determinadas sales y el litio se va subsecuentemente concentrando obteniendo sales potásicas y otros compuestos hasta llegar a obtener una salmuera concentrada en litio, boro y magnesio, la que alimenta las plantas químicas de producción de carbonato, hidróxido y cloruro.

“Como consecuencia de la modificación de Minsal Ltda. en S.A. cerrada en 1994, siendo socios Corfo (18,18%) y SQM Potasio SA (81,82%), la CCHEN ratificó varias autorizaciones dadas a esa sociedad para la producción de sales de litio, a través del Acuerdo N° 1576 de 1995. En este acuerdo, numeral 9, esa Comisión recomienda que, con el objeto de incrementar el valor agregado del litio que se extraiga del Salar de Atacama, la Sociedad Minsal a través de Corfo, se comprometa a contribuir con aportes anuales al financiamiento de un Centro de Investigaciones de Litio, dedicado al estudio respecto a las aplicaciones tanto nucleares como industriales convencionales del litio” (Comunicación personal Pavlovic 2012).

Al negociarse las condiciones finales bajo las que operaría SQM, esta solicitó a Corfo que el 0,8% establecido para investigación estuviese comprendida en el Royalty de tal forma que la responsabilidad del desarrollo de investigaciones sobre el litio en Chile recaería sobre Corfo y no sobre Minsal. Esta recomendación fue acogida por Corfo. Hasta 2012 la Corfo había desconocido este acuerdo, en detrimento del desarrollo de la investigación en litio en Chile.

La empresa Amax de los Estados Unidos había ya llegado a Chile en 1980 en búsqueda de Potash<sup>19</sup>, un mineral que contiene potasio, y al comprender que la exclusividad otorgada a SCL para la producción de litio era de sólo 8 años, se interesó por explotar otras partes del Salar de Atacama. Amax y FMC (ex Lithco) participaron en la licitación llamada por Corfo en 1983 y la primera fue adjudicada en esta licitación en conjunto con Molymet. Así, en 1986 se constituyó la Sociedad Minera Salar de Atacama SA, Minsal, integrada por Amax Inc., 63,75%, Corfo 25%, y Molymet 11,25%. Corfo aportó 14.814 pertenencias en arrendamiento a Minsal. En 1989 Minsal concluyó el estudio de factibilidad del proyecto el que requería 360 millones de dólares de inversión y el que produciría cloruro de potasio, sulfato de potasio, ácido bórico, carbonato de litio e hidróxido de litio. A la constitución de Minsal S.A., Corfo había autorizado la explotación de hasta 180.100 toneladas de litio metálico, cumpliendo un calendario pre aprobado por la misma Corfo y partiendo en 1992 con 2.800 toneladas. Debido a la explotación de varios productos en esta nueva sector del Salar, los costos de explotación del litio fueron muy inferiores a los costos de otras explotaciones de litio en el mundo. Minsal producía litio, pero a la hora de estimar los costos de extracción, se restaban los importes por ventas de sales potásicas y del ácido bórico. El contrato con Minsal estableció que la CCHEN tenía una opción preferente para comprar el litio 6. A diferencia de SCL, a la que se había otorgado la propiedad minera, el contrato con Minsal era de arriendo.

En definitiva Minsal comenzó la producción de litio en 1996, cuatro años más tarde de lo proyectado debido a que el proyecto había aumentado de costo. Amax no estaba ya decidida a realizar la inversión. Por ello el 12 de noviembre de 1993 SQM, la que se había privatizado en 1985, adquirió el 75% de Minsal, transacción que fue aprobada por Corfo. En esta transacción hubo interés por parte de FMC pero Corfo privilegió a una empresa chilena, otorgándole un plazo adicional, hasta 2030 y ampliando las pertenencias en arriendo a 16.384 y se comprometió a no explotar las 11.670 pertenencias que le quedaban en el Salar<sup>20</sup>. En diciembre de 1995 Corfo vendió a SQM el 18,18% adicional<sup>21</sup>, con lo que esta quedó con el 100% de la propiedad de Minsal.

---

<sup>19</sup> Nombre común asignado a varias sales soluble en agua que contiene potasio y que son extraídas o fabricadas.

<sup>20</sup> Comunicación personal con Ernesto Tironi, Gerente General de Corfo en la época de la transacción.

<sup>21</sup> Las cifras no suman 100 ya que había habido un aumento de capital por parte de SQM, la que diluyó la participación de Corfo.

A diciembre 2011 SQM había producido cerca de 65 mil toneladas de litio, del total asignado.

Después de perder la licitación ante Amax, FMC (ex Lithco) se volcó a examinar el salar de Uyuni en Bolivia pero fracasó en alcanzar un acuerdo con el Gobierno de este país. FMC (ex Lithco) también se había interesado en el Salar de Hombre Muerto en Argentina y ahí logró negociar los derechos con el Gobierno Argentino para explotar dicho yacimiento (Evans, 2008). Este Salar está ubicado a sólo 220 km al sur este del Salar de Atacama, cruzando la cordillera de Los Andes. A pesar que este salar era mucho más pequeño en reservas que los de Uyuni y Atacama, tenía la ventaja que las salmueras eran muy “limpias” y se podía producir cloruro de litio más limpio que en cualquier otra parte del mundo. Los costos de explotación de litio en este salar resultaron ser más altos que lo anticipado, por lo que el inicio de la producción se demoró muchos años. FMC (ex Lithco) comenzó la explotación del Salar de Hombre Muerto en 1997-1998, un año más tarde que Minsal en el Salar de Atacama. A corto andar comprobó que la evaporación no era tan eficiente como se pensaba, entre otros causas, porque llovía en esa zona. El proceso para extraer carbonato exigía introducir resinas de intercambio iónico.

## **5- Recursos de litio**

La Figura 1 muestra algunas de las citas sobre reservas y recursos de litio reportadas en la literatura desde 1955 a la fecha. Lo primero que se observa es el gran número de estimaciones que hay desde 2006 en adelante, mientras anteriormente hay dos expertos que reportaban dichas cantidades. Las estimaciones de reservas y recursos de litio en los últimos cinco años varían entre 17 y 56 millones de toneladas de litio contenido. Ello denota el interés que el litio está suscitando debido a sus potenciales aplicaciones futuras, por lo que un gran número de empresas a través del mundo tiene prospectos de exploración y están interesadas en ingresar al sector.

Ello no considera el litio que podría recuperarse a partir de agua de los océanos. De acuerdo a Yaksic (2009) los costos de explotación del carbonato de litio a partir del agua de mar eran entre 7 y 10 US\$/lb<sup>22</sup>, obtenidos originalmente por Steinberg y Dang (1975), cuando había grandes expectativas de demanda para los reactores de fusión nuclear y se pensaba que habría insuficientes yacimientos convencionales de litio para abastecer dicha demanda. Considerando que se recuperaba el 20% del litio de los océanos, los recursos eran de 44,8 billones<sup>23</sup> de toneladas. Aun cuando estos costos fueron estimados en 1975, con menores posibilidades tecnológicas que las existentes en 2011, es difícil pensar que en el futuro cercano haya suficiente demanda para explotar el litio del océano. Antes habría que agotar cuantiosas reservas y recursos disponibles con menores costos.

La Figura 1 demuestra también lo inadecuado de los estándares<sup>24</sup> para estimar lo que es reserva y recursos de un mineral como el litio. Weil et al., (2009) hicieron en 2009 una revisión de los valores de reservas y recursos citados para el litio y concluyeron que las estimaciones para reservas de litio variaban entre 4 y 30 millones de toneladas de litio contenido, y que las estimaciones para los recursos de litio variaban entre 8 y 56 millones de toneladas. Weil y sus

---

<sup>22</sup> En Dólares de 2009.

<sup>23</sup> Miles de millones.

<sup>24</sup> Se usa las definiciones del Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO) y, también, las definiciones de otras organizaciones como el USGS.

coautores concluyeron que la utilización de la nomenclatura por parte de diferentes actores variaba hasta el punto en que incluso las estimaciones de reservas eran muy disímiles. Por otra parte, las estimaciones de recursos<sup>25</sup> incluían aquellos valores medidos, indicados e inferidos. CRIRSCO definía un método para clasificar el tonelaje y ley de reservas y recursos, los que tenían que ser reportados para cada sitio por las compañías que realizaban la exploración o que operaban los sitios. De acuerdo a Weil (2009), las compañías no respetaron este estándar y por ello la comparabilidad de las cifras reportadas era restringida.

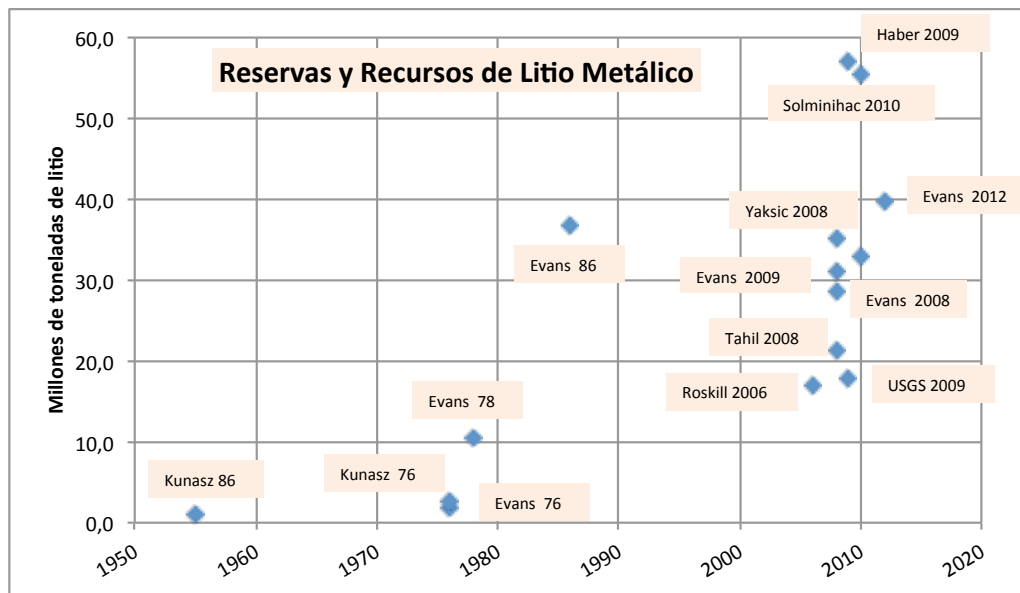


Figura 1, Reservas y Recursos de litio, Fuentes: indicadas en la Figura.

La secuencia más consistente en la evolución de las reservas y recursos de litio estaba compuesta por el Panel convocado por el National Research Council (NRC) de los Estados Unidos en 1976, la estimación de Evans en 1986, y las nuevas estimaciones de Evans en 2008 y 2009. La estimación de 1978 era de 10,6 millones de toneladas de litio contenido, en 1986 Evans aumentó la estimación a 36,7 millones de toneladas, como se detalla en la sección sobre el período desde 1967 hasta la entrada de Chile en la industria. La cifra de Evans de 1986 sobre estimó los recursos de litio presentes en Hectorita en los Estados Unidos, los que colocaba en 15,1 millones de toneladas. En sus trabajos de marzo y julio 2008 y en 2009 Evans adjudicó sólo 2 millones de toneladas de litio metálico contenido a Hectoritas, con lo que redujo el valor de recursos y reservas a 28,3 y 29,8 millones de toneladas de litio respectivamente. En su última estimación, de 2009, Evans añade a los recursos aquellos de las salmueras geotérmicas llegando a valorarlas en un millón de toneladas, y de las salmueras petrolíferas, llegando a valorar estas en 750 mil toneladas de litio. Además, Evans agregó 850 mil toneladas de jadaritas<sup>26</sup> en 2009, correspondientes a un informe de Rio Tinto de un nuevo mineral localizado cerca de Belgrado en Serbia.

<sup>25</sup> De acuerdo a CRIRSCO un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de material de interés económico en la corteza terrestre en forma, calidad y cantidad tal que constituye un prospecto razonable para extracción económica.

<sup>26</sup> De fórmula  $\text{LiNaSiB}_3\text{O}_7(\text{OH})$ .

Esta Figura no incluye el yacimiento de litio reportado en 2010 en Afganistán (Afganistán 2010), el que tendría 36,8 millones de toneladas de litio contenido, completando recursos mundiales por 92,1 en un escenario optimista.

De acuerdo a Evans (2008) y Solminihac (2009), SQM habría realizado exploraciones que confirman la existencia de salmueras ricas en litio y otras sales hasta 200 metros de profundidad, las que confirmarían la cifra de 6,9 millones de toneladas, mientras que anteriormente había sondajes sólo hasta 40 metros de profundidad, lo que se estimaba en 4,29 millones de toneladas.

La Tabla 1 indica los años de las estimaciones, su autor, y los tonelajes de reservas y recursos.

La distribución de reservas y recursos según origen del mineral en 2009 fueron reportadas por Evans en 2009 (2009), y sumaban 29,8 millones toneladas de litio contenido. De estas un 59% estaba en salmueras continentales, 25,6% en pegmatitas, 3,3% en salmueras geotérmicas, 6,6% en hectoritas, 2,5% en salmueras petrolíferas, y 2,8% en jadaritas.

De acuerdo a Evans (2009) siete yacimientos en el mundo daban cuenta del 72% de las reservas y recursos en 2009. Estos eran, el Salar de Atacama en Chile, con el 23% de reservas y recursos, el salar de Uyuni en Bolivia, con un 18,4%, el yacimiento de pegmatitas en Kings Mountain, Carolina del Norte, con 8,7%, el yacimiento de pegmatitas de Manono en Zaire, con un 7,7%, el Salar de Zhabuye en Tibet un 6,7%, y los Salares de Rincón y Hombre Muerto en Argentina, con un 7,5%. Como ya se mencionó, Kings Mountain fue cerrado por Chemetall, Manono está prácticamente inexplorado y además tendría costos altos debido a las distancia de transporte del mineral hasta puerto, y los Salares de Olaroz, DXC del Tibet, Caucharí, Diablillos, Salinas Grandes, y Uyuni están inexplorados, aunque en el primero hay una planta piloto. Entre los siete mayores yacimientos, hay sólo dos en explotación, el Salar de Atacama y el Salar de Hombre Muerto.

Por país la distribución de reservas y recursos en 2009 eran, según Evans, los Estados Unidos con 25%, Chile con 23,1%, China con 11,2%, Argentina con 8,5%, Zaire con 7,7%, con un 24,5% distribuido en otros países.

En definitiva, los recursos de litio crecieron 2,81 veces desde 1976 a 2009, en estimación de Evans y el NRC, mientras que la producción aumentó 2,89 veces, es decir casi lo mismo que los recursos. El ritmo de crecimiento de los recursos desde 2009 fue, sin embargo, muy superior al de la producción, impulsado por la fiebre de los fabricantes de automóviles y vehículos eléctricos, los que han estado promoviendo y apoyando la exploración y la producción de litio en diversas partes del mundo. El uso de baterías de litio en automóviles de grandes marcas será analizado más adelante.

Según Gerry Clarke (Clarke 2011) quien publicó el Lithium Availability Wall Map 2011, habría más de 100 proyectos en diversas etapas de desarrollo en junio 2011, con 10 proyectos iniciando producción entre 2010 y 2014, la mayor parte de los cuales no estaban considerados en el listado de yacimientos con recursos de litio de Evans en 2009. Además, las cuatro mayores empresas del mundo<sup>27</sup> aumentarían su producción en 55% entre 2011 y 2015.

---

<sup>27</sup> Talison, SQM, Chemetall, y FMC.

De todas formas, los recursos de litio alcanzaban en 2009, según la estimación de Evans, para producir dicho metal durante 1.150 años al ritmo de explotación de dicho año. Cuando se considera una creciente demanda debido a automóviles, los recursos alcanzarían para varios cientos de años<sup>28</sup>.

La última estimación de Evans (2012) deja de manifiesto que Chile se quedó significativamente atrás en recursos, pasando desde tener un 40% de estos en 1976 a 24% en 2008, y a 17,8% en 2012. Cuando no hay nuevos proyectos productivos en el horizonte, la exploración se estanca.

**Panel EEUU**

	<b>1976</b>	<b>Evans 1986</b>	<b>Evans 2008-a</b>	<b>Evans 2009</b>	<b>Evans 2012</b>
<b>Pegmatitas</b>	<b>5.939.000</b>	<b>7.430.000</b>	<b>7.654.100</b>	<b>7.654.100</b>	<b>9.930.000</b>
Carolina del Norte (operaciones anteriores)			230.000	230.000	230.000
Carolina del Norte sin desarrollar	3.150.000	3.150.000	2.600.000	2.600.000	2.600.000
Barraute, Quebec	109.000	109.000	90.000	90.000	230.000
Bernic Lake, Manitoba	47.000	47.000	18.600	18.600	
Otras Canadá	112.000	512.000	147.000	147.000	430.000
Bikita, Zimbabwe	113.000	113.000	56.700	56.700	56.700
Manono, Zaire	2.340.000	2.340.000	2.300.000	2.300.000	2.300.000
Greenbushes, Australia		1.100.000	223.000	223.000	1.500.000
Mount Marion, Australia			19.800	19.800	93.500
Mount Cattlin, Australia (Galaxy)	41.000	41.000	20.000	20.000	90.000
Karalpa, Austria			100.000	100.000	134.000
Larritta, Finlandia			14.000	14.000	14.000
Varias, Rusia			1.000.000	1.000.000	1.000.000
Varios Brasil	18.000	18.000	85.000	85.000	185.000
Varias, China			750.000	750.000	750.000
Varias en resto de EEUU, Canadá, Namibia, Argentina	9.000	9.000			317.000
<b>Salmueras continentales</b>	<b>4.672.000</b>	<b>9.908.000</b>	<b>17.590.000</b>	<b>17.590.000</b>	<b>25.160.000</b>
Silver Peak, Nevada	118.000	118.000	40.000	40.000	40.000
Salar de Uyuni, Bolivia		5.500.000	5.500.000	5.500.000	8.900.000
Salar de Hombre Muerto, Argentina			850.000	850.000	850.000
Salar de Rincón, Argentina			1.400.000	1.400.000	1.400.000
Salar de Olaroz, Argentina			300.000	300.000	1.200.000
Salar de Cauchari, Argentina					1.520.000
Sal de Vida, Argentina					1.020.000
Salar de Diablillos, Argentina					530.000
Salar de Atacama, Chile	4.290.000	4.290.000	6.900.000	6.900.000	6.900.000
Salar de Maricunga, Chile					200.000
China y Tibet (varios)			2.600.000	2.600.000	2.600.000
Searles Lake, Great Salt Lake, EEUU	264.000	264.000			
<b>Total otros</b>	<b>0</b>	<b>19.100.000</b>	<b>3.066.000</b>	<b>4.600.000</b>	<b>4.800.000</b>
Salmueras goetérmicas		4.000.000	316.000	1.000.000	1.000.000
Salmueras petrolíferas			750.000	750.000	850.000
Hectoritas		15.100.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000
Jadaritas				850.000	950.000
<b>Total</b>	<b>10.611.000</b>	<b>36.438.000</b>	<b>28.310.100</b>	<b>29.844.100</b>	<b>39.890.000</b>

Tabla 1: Recursos y Reservas estimadas de litio por un Panel en EEUU 1976 y por Keith Evans en los otros años. (toneladas). De acuerdo a esta estimación, Chile tenía en 2012 el 17,8% de los recursos mundiales de litio. No se considera los recursos descubiertos en Afganistán. Argentina casi triplicó sus recursos entre la estimación de Evans de 2009 y la de 2012.

## 6- Demanda.

Además de la demanda termonuclear generada por los Estados Unidos y por la Unión Soviética después de la segunda guerra mundial, los Estados Unidos y el mundo experimentaron un crecimiento casi sin precedentes entre el fin de la guerra y 1969 (Krugman 2009). Esto fue ayudado por el plan Marshall, el que aceleró la reconstrucción de la Europa Occidental destruida

<sup>28</sup> Modelo de demanda desarrollado por la empresa SignumBox Inteligencia de Mercado, comunicación personal de Daniela Desormeaux, 2012, Santiago, Chile.



por la guerra(Eichengreen 2007). Por ello no puede llamar la atención que el aumento de la producción en la década de los 50 haya llegado a casi 8% anual, y que la década siguiente haya alcanzado el record de la industria del litio hasta 2010, de más de un 12% anual. A pesar de las dos crisis del petróleo en 1974 y 1979, las que fueron seguidas por las dos recesiones más importantes desde la gran depresión (Krugman 2009), la industria del litio logró atravesar dichas crisis exitosamente aumentando su producción significativamente. De hecho en la década de los 70 la industria logró su segunda mejor marca de crecimiento anual de poco menos de 10% anual.

Ya en los 70 era conocido el potencial del litio en baterías para vehículos eléctricos y se hacían proyecciones altísimas para el uso de este metal (Chilenskas 1976).

En 1985 nuevamente surgieron dudas sobre la capacidad de la industria para proveer litio suficiente para satisfacer las necesidades de la industria aeronáutica la que usaría aleaciones ultra livianas de litio aluminio (Evans, 1986). Utilizando los mismos criterios que en 1977 sin embargo, las reservas y recursos de litio fueron estimados en 36,7 millones de toneladas de litio metálico equivalente, es decir más de tres veces lo que se había estimado diez años antes y suficientes para proveer las necesidades de los nuevos usos por varias décadas.

Una de los aspectos curiosos de estas proyecciones tan ostentosas de la demanda futura en 1985 es que ocurrían en un período en que la demanda aumentó en forma muy lenta (1984-1993), mientras que desde 1994 hasta el comienzo de la crisis asiática en 1997, el consumo de litio aumentó más rápidamente debido a al uso del metal en los nuevos monitores monocromáticos para computadores (Metal Bulletin 2009).

Para 1990 el uso del litio en cerámicas y vidrios había subido a 52%, el litio en la fabricación de aluminio se mantenía en 31%, y el uso del metal en grasas lubricantes había caído a 8%. La utilización de litio en baterías se había elevado marginalmente y era menos de 10% (Roskill, 1990).

Nuevamente en 2007 se expresaron dudas sobre la capacidad de la industria para proveer el litio necesario para abastecer la demanda de litio para baterías y en particular para las baterías de ión litio para vehículos eléctricos (Tahil 2006).

Pero en 2007 ya había un patrón de consumo que apoyaba estas estimaciones. En 2008 el consumo de litio en baterías había ganado el segundo lugar entre los mayores usos del metal con un 20% del mercado (Roskill 2009), después de los vidrios y cerámicas (37%), desplazando al uso en fabricación de aluminio (7%) y a las grasas lubricantes (13%). Las baterías de litio habían desplazado a las de níquel cadmio y níquel hidruro metálico en muchas aplicaciones electrónicas. En 2009 se estimaba que el 90% de los computadores portátiles y el 60% de los teléfonos celulares usaban baterías de litio (Metal Bulletin 2009).

El período 2000-2008 hay que segmentarlo en dos partes, la primera desde 2000 a 2003, caracterizada por las secuelas de la crisis asiática, con baja demanda y precios por minerales. La producción de litio prácticamente no creció entre 2000 y 2003, más aún, decreció en un 13% desde el comienzo de la crisis asiática en 1997 hasta 2003, señalando que la industria tenía una sobrecapacidad de producción. Desde fines de 2003 emergió el poder de China en el mercado y la demanda aumentó agudamente para todos los commodities minerales hasta la crisis financiera global de 2008. En el caso del litio los usos más importante de este período (ver Figura 2) fueron la industria de la cerámica y vidrio, los que estaban fuertemente determinados por la construcción y

por la industria automotriz (Metal Bulletin 2009). Las baterías de litio para usos electrónicos emergieron fuertemente en el uso del litio desde 2000, aumentando su uso desde un 6% en dicho año a un 20% en 2008. Debido al aumento del uso de las baterías de litio retrocedió el uso relativo de las otras aplicaciones del litio, con excepción de las grasas lubricantes, las que mantuvieron su participación en el mercado global.

La Figura 2 muestra la demanda de litio por usos desde 1975 a 2008. Estas cifras fueron obtenidas de diversos informes de Roskill y no incluyen la demanda de la URSS antes de 1990 ni la de la Rusia después de 1990. Se observa el ascenso del uso en baterías desde 2000, la reducción del uso relativo en cerámicas y vidrios desde 1990 y en la refinación de aluminio desde 1975. También se observa un aumento en el uso del litio en otras aplicaciones.

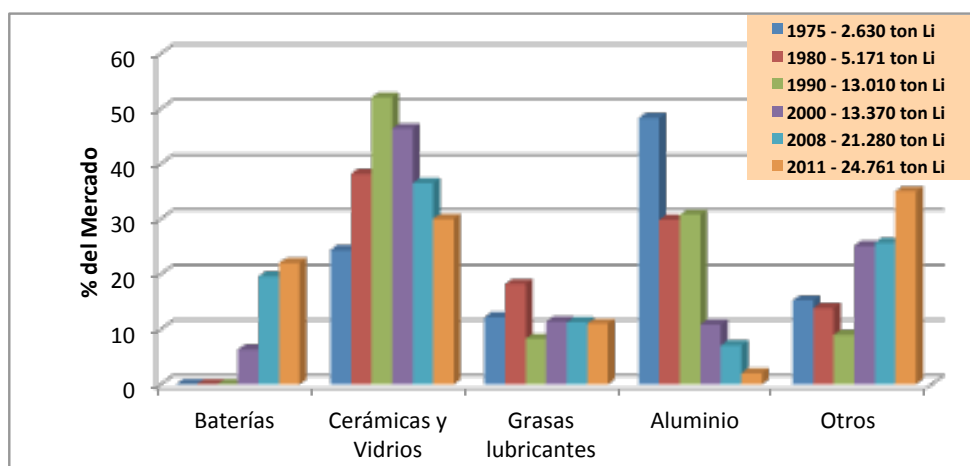


Figura 2: Usos del litio a nivel global (exceptuando la URSS y China antes de 1990, y Rusia después de 1990) en 1975, 1980, 1990, 2000 y 2008. Fuentes, Roskill 1990 para usos en 1975, 1980 y 1990, Roskill 2009 para usos en 2000, 2008 y Roskill 2012 para usos en 2011. Las estimaciones citadas por Roskill 1990 correspondían, originalmente al Lithium Australian Prospectus, 1986 para los años 1980 y 1990, y las estimaciones de 1975 fueron originalmente realizadas por el U.S. Bureau of Mines, USBM.

Según Roskill 2009, el litio era utilizado en cerca del 80% de las grasas lubricantes a nivel global en 2007.

## 7- Producción.

En la Figura 3 se aprecia la producción mundial de litio desde 1984 hasta 2011, incluyendo los cuatro actores principales de ella, Chile, Australia, Argentina, y los Estados Unidos.

Existe consenso entre los expertos de la industria en que es difícil estimar la producción en forma precisa. Hay fuertes diferencias en las estimaciones entre, por ejemplo el USGS, el Gobierno de Canadá, la empresa Roskill, el British Geological Survey (BGS), y los dos principales geólogos de la industria, Keith Evans e Ihor Kunasz. El motivo de las diferencias está dado porque algunas de las empresas que producen mineral de litio reportan las toneladas de mineral exportado, sin indicar la ley promedio de litio de dichos minerales. El contenido de litio en los principales minerales puede variar hasta valores que exceden 100%.

Por otra parte también hay dificultades para seguir la producción de los yacimientos de salmueras. En el caso de Chile, por ejemplo, SCL produce carbonato y cloruro de litio directamente a partir de

salmueras, pero también produce una parte del cloruro a partir de carbonato, mientras que SQM produce hidróxido de litio monohidratado a partir de carbonato de litio<sup>29</sup>. Ambas empresas venden, además, salmueras de cloruro de litio purificadas a terceros, las que, típicamente, tienen entre 5 y 6% de litio.

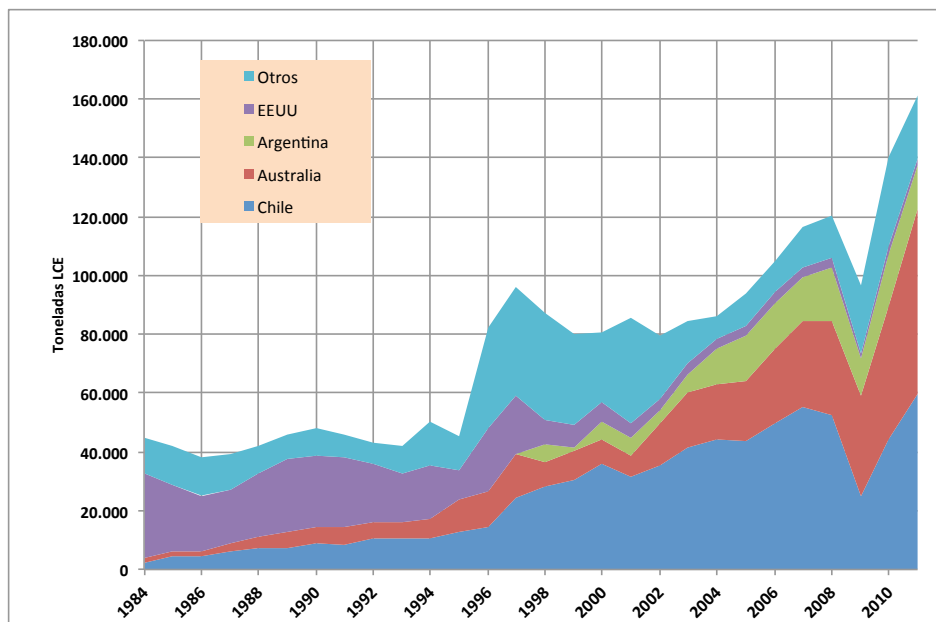


Figura 3: Producción mundial de litio 1984-2011 expresada en toneladas de carbonato de litio equivalente. Para transformar a contenido de litio metálico hay que multiplicar las cifras por 0,189. La Figura incluye la producción de los cuatro actores principales del período, Los Estados Unidos, Chile, Argentina, y Australia. Fuentes: entre 1984 y 1993 se consideró la producción mundial según el British Geological Survey; entre 1994 y 1999 según USGS<sup>30</sup>, y entre 2000 y 2011, se consideraron los datos de Roskill (2012). La producción de los Estados Unidos fue obtenida en forma indirecta a partir de los datos del USGS, la producción de Chile fue adoptada de Roskill entre 1984 y 1989, y a partir de los datos de la Comisión Chilena del Cobre entre 1990 y 2011, considerando sólo la producción de carbonato de litio. La producción de Argentina fue adoptada de USGS hasta 1999 y de Roskill a partir de 2000. La producción de Australia fue adoptada de BGR Polinares (2012) entre 1984 y 1993 (como proporción del total mundial), de USGS entre 1994 y 1999, de Roskil entre 2000 y 2006 y de las empresas Talison y Galaxy desde 2007 a 2011.

La Figura 3 contiene una serie de fuentes inciertas, especialmente en lo que se refiere a la producción de los Estados Unidos en muchos años que no fueron reportados por el USGS. Es claro, sin embargo, que los Estados Unidos fue reduciendo su importancia en la producción mundial, desde ser el principal productor mundial desde comienzos de la industria hasta 1995 cuando fue superado por Chile. En 1996, sin embargo, los Estados Unidos volvió a ser número uno, pero por sólo ese año ya que desde 1997 hasta 2008 Chile dominó completamente la producción mundial.

Estados Unidos llegó a producir menos de mil toneladas de litio contenido en 2011, lo que constituía menos del 10% de la producción chilena. Los datos de Australia y de la URSS son también inciertos antes de 2006. Posteriormente los datos de Australia fueron reportados por Talison Lithium, y por Galaxy Resources.

<sup>29</sup> Información obtenida de SCL y SQM.

<sup>30</sup> USGS Mineral Commodity Summaries.

No pudo explicarse el aumento explosivo de la producción mundial generado en 1996-1997, ya que excede con creces el efecto de la entrada de SQM a la producción en el Salar de Atacama, al de FMC con la entrada en producción del salar del Hombre Muerto, y al crecimiento de la producción de Australia en esos años, debido al aumento de capacidad de Sons of Gwalia, en el yacimiento Greenbushes en Australia Occidental.

En definitiva, la Figura 3 es indicativa más que definitiva en cuanto a la producción mundial de cada período, pero permite observar el crecimiento por décadas de la producción de litio contenido desde 1984 a 2011. El crecimiento de la producción obedeció a la demanda que se originó en los diversos períodos a nivel global, y por ello, fue afectada por los auges y crisis de la economía mundial en este período. Este gráfico indica que el período de mayor crecimiento de la producción, lo que respondió a una mayor demanda, coincidió no sólo con el alto crecimiento de los Estados Unidos y Europa sino con la existencia de carbonato de litio asequible a muchas aplicaciones.

La respuesta de la producción a la demanda se observó nuevamente desde 2004 con el auge de los commodities causado por China, interrumpido por la crisis de 2008, pero continuado después. Analizado el período total 1984-2011, la producción de litio creció a un ritmo de 4,8% anual promedio, mientras que entre 1984 y 1994 creció un 1,1% anual, entre 1994 y 2004 creció un 5,5% anual y entre 2004 y 2011 creció a 9,4% promedio anual.

La Figura 3 muestra el inicio de la operación de SQM en el salar de Atacama, y de FMC en el Salar de Hombre Muerto en 1996-1997, así como el impulso impuesto en el crecimiento de la producción por Talison Lithium de Australia (ex Sons of Gwalia) en 2007.

Las minas de pegmatita de Carolina del Norte cerraron con el desarrollo de los salares en Chile y Argentina. En 1996 Foote cerró su mina en Sunbright, Virginia, ya que contaba con capacidad de producción de hidróxido de litio suficiente y más barato en el Salar de Silver Peak en Nevada.

Hasta 1998 FMC (ex Lithco) producía litio a partir de la mina a rajo abierto Hallman-Beam cerca de Cherryville en Carolina del Norte, pero en este año dicha mina fue cerrada y vendida a una empresa que la usaría para materiales de la construcción (Roskill 2003).

En 1999 FMC decidió que sería más económico alcanzar un acuerdo de largo plazo con SQM de Chile para proveer el carbonato de litio que requería para producir otros productos de litio en sus plantas de los Estados Unidos, que continuar la operación de su planta de carbonato de litio en el Salar del Hombre Muerto en Argentina, por no ser esta competitiva en esa época. Al mismo tiempo que hacía esto, ampliaba su planta para fabricar butyl litio y otros reactivos orgánicos de litio en Bessemer City. Y en 2002 entablaba una alianza con AEA Battery Systems de Escocia para promover una nueva y revolucionaria tecnología de baterías (Roskill 2003).

El comienzo de la producción de los salares de Chile y Argentina, así como el cierre de minas en los Estados Unidos explica, al menos parcialmente, el auge de la producción en 1996-1997 y su posterior caída.

La Figura 3 muestra claramente que la política de las empresas frente a la crisis de 2008 fue reducir la producción en 2009, en vez de reducir el precio. Tanto SQM como SCL y FMC redujeron

fuertemente la producción, pero Talison Lithium no la redujo ya que se encontraba en un fuerte proceso de expansión productiva. Ello significó que este año la producción de Australia superó a la de Chile en 35%, de acuerdo a los datos de Sernageomin y Cochilco, y en un 15% con respecto a las exportaciones de litio del país.

Después que SCL comenzó a producir carbonato de litio en 1984, inauguró una planta de cloruro de potasio<sup>31</sup> en 1988, en 1997 comenzó a producir cloruro de litio y en 2004 produjo carbonato de litio de alta pureza para la fabricación de baterías. Además produce otros productos como cloruro de magnesio, cloruro de sodio y cloruro de potasio (potash). SQM comenzó a producir carbonato de litio junto a sales potásicas en 1997 y a partir de 2005 inauguró una planta de hidróxido de litio.

Las cifras de producción de compuestos de litio de los anuarios de Sernageomin y Cochilco inducen a error ya que en algunos años se suman las producciones de carbonato de litio, hidróxido de litio y cloruro de litio, lo que no es un procedimiento correcto. Como ejemplo, en 2011, los anuarios de Cochilco y Sernageomin reportan que la producción total de compuestos de litio fue de 69.597 toneladas y que la producción de carbonato de litio fue de 59.933 toneladas. No se indica, sin embargo, si este último valor incluye todos los tipos de compuestos de litio producidos en el país, los que comprenden el hidróxido, el cloruro, y las salmueras concentradas en litio. Se sabe que una parte del cloruro de litio producido por SCL es a partir de carbonato de litio y que otra fracción se produce a partir de la salmuera purificada<sup>32</sup>. Tal como se indicó, SQM produce hidróxido de litio a partir de carbonato. Por ello no es posible concluir definitivamente sobre la producción total de compuestos de litio de Chile. Como referencia, las exportaciones totales de Chile en 2011 fueron de 61.728 toneladas de LCE<sup>33</sup>.

No pudo ser explicada las diferencias entre las cifras de producción citadas por Sernageomin y por Cochilco entre 1992 y 2011 y las exportaciones de litio del país. Entre 2004 y 2008 las exportaciones fueron, en promedio, un 10% menor que la producción, como se observa en la Figura 4, mientras que entre 2009 y 2011 las primeras fueron cerca de 5% superiores a la producción. Sumadas las toneladas exportadas totales de compuestos de litio, expresadas en LCE, por Chile entre 2002 y 2011, estas fueron un 1,5% inferiores a las toneladas de producción de carbonato de litio reportados para dicho período por Sernageomin y por Cochilco. Ello podría llevar a pensar que, efectivamente, las 59.933 toneladas reportadas por estas instituciones en 2011 representan el total de la producción de litio de ese año, expresado en términos de carbonato de litio.

La incertidumbre sobre la producción de Chile que generan las cifras de producción requieren un esfuerzo para generar valores confiables que puedan servir como referencia para profesionales y líderes de opinión que consultan estos anuarios en forma regular.

Parece lógico recomendar que se cite una producción que de cuenta de toda la producción de litio del país y que ella esté en las mismas unidades. Estas pueden ser carbonato de litio equivalente (LCE) o bien litio metálico equivalente. Por otra parte el valor total de producción debería incluir las salmueras purificadas que las empresas productoras venden a terceros, aunque estos la

---

<sup>31</sup> Presentación de Monica Engel-Bader, Chemetall, el 5 de agosto 2010 en seminario sobre el litio organizado por Sonami, Santiago, Chile.

<sup>32</sup> Información proporcionada por la empresa.

<sup>33</sup> En este valor están incluidos todos los compuestos de litio que se exportaron del país, incluidas las salmueras concentradas.

exporten como producto no terminado. Lo que interesa, en definitiva, es el litio total que se vende al exterior, ya que Chile no utilizaría litio en producción de productos del metal al interior del país.

En todo caso, los valores de producción de compuestos de litio publicados (fila superior) por Cochilco y Sernageomin condujo a muchos a pensar que Chile seguía siendo líder mundial en producción de litio en 2011. Los informes de Talison Minerlas de Australia y de Galaxy Resources del mismo país permiten concluir que Australia habría superado a Chile en producción de litio en 2011, con un total de 62.560 toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE), mientras que Chile habría producido 59.933 toneladas en dicho año. En el caso que la producción de Chile haya sido superior a la cifra indicada por Sernageomin y Cochilco, habría habido un virtual empate en producción de litio por parte de Australia y Chile en 2011, representando cerca de un 38% cada uno.

Lo importante aquí, no es la cifra exacta de producción de Chile en 2011, sino la tendencia, de expansión muy rápida de la capacidad de la producción de Australia. Ello podría significar que Chile siguiera perdiendo terreno en participación de mercado durante esta década.

Talison ha seguido una política expansiva de su producción, llegando a completar en 2012 una capacidad de producción de 110 mil toneladas de LCE, mientras que Galaxy Resources tiene 17 mil toneladas de capacidad, también en toneladas LCE. SCL tenía en 2012 una capacidad de producción de 24 mil toneladas de carbonato de litio, más 5 mil toneladas de cloruro de litio. Por su parte SQM tenía en 2012 una capacidad de producción de 50 mil toneladas LCE. Ello hacía un total para el país de cerca de 78 mil toneladas LCE<sup>34</sup>. Por otra parte Talison superó a SQM en producción ya en 2008<sup>35</sup>, pasando a ser la mayor compañía productora de litio a nivel global.

Talison inició su producción de litio sólo en 2007 en la mina Greenbushes de Australia Occidental, después de haber comprado este yacimiento a Sons of Gwalia Advanced Mineral Division, y en 4 años se transformó en el primer productor mundial. La mina Greenbushes había comenzado la explotación de litio en 1974 (Roskill 2009). Talison exporta los concentrados de espodumeno y es el principal abastecedor de litio de China, la que consume un tercio del litio mundial<sup>36</sup>.

A fines de 2010 hizo entrada a la producción de litio la empresa Galaxy Resources de Australia, a partir de la mina Mount Cattlin en Australia Occidental<sup>37</sup>. Esta empresa produjo 9.760 toneladas de LCE a partir de mineral de espodumeno en 2011, comparado con 52.800 ton LCE producidas dicho año por Talison Minerals, también de Australia.

Galaxy Resources es propietaria de una planta de transformación de concentrado de litio (en base a mineral de espodumeno) a carbonato de litio de alta pureza (para baterías) en Jiangsu, China, con una capacidad de 17 mil toneladas de LCE. Ello es una capacidad considerable, comparable a la producción de FMC en el Salar de Hombre Muerto en Argentina en 2010. Galaxy posee concesiones de explotación de minas de pegmatitas en Quebec, Canadá, y adquirió recientemente de Lithium 1, el proyecto Sal de Vida ubicado en el sector este del Salar de Hombre Muerto en

---

<sup>34</sup> Información obtenida de SCL y SQM.

<sup>35</sup> SQM exportó 30.285 ton. LCE mientras Talison produjo 32 mil ton. LCE.

<sup>36</sup> Presentación en la Conferencia Wedbush Clean Technology & Industrial Growth Conference, 15 de septiembre 2011, Australia.

<sup>37</sup> Reporte de Galaxy Resources Julio 2012.

Argentina, y anunció una producción de 25 mil toneladas de carbonato de litio. Asimismo, anunció en julio 2012 que había completado un estudio de factibilidad para fabricar baterías en Jiangsu, China, en donde produciría 600 mil baterías para e-bikes, o bicicletas eléctricas, en conjunto con empresas de la región asiática.

La Figura 4 muestra la producción de litio de Chile desde 1984 a 2011, y muestra las exportaciones de compuestos de litio desde 1990 a 2011.

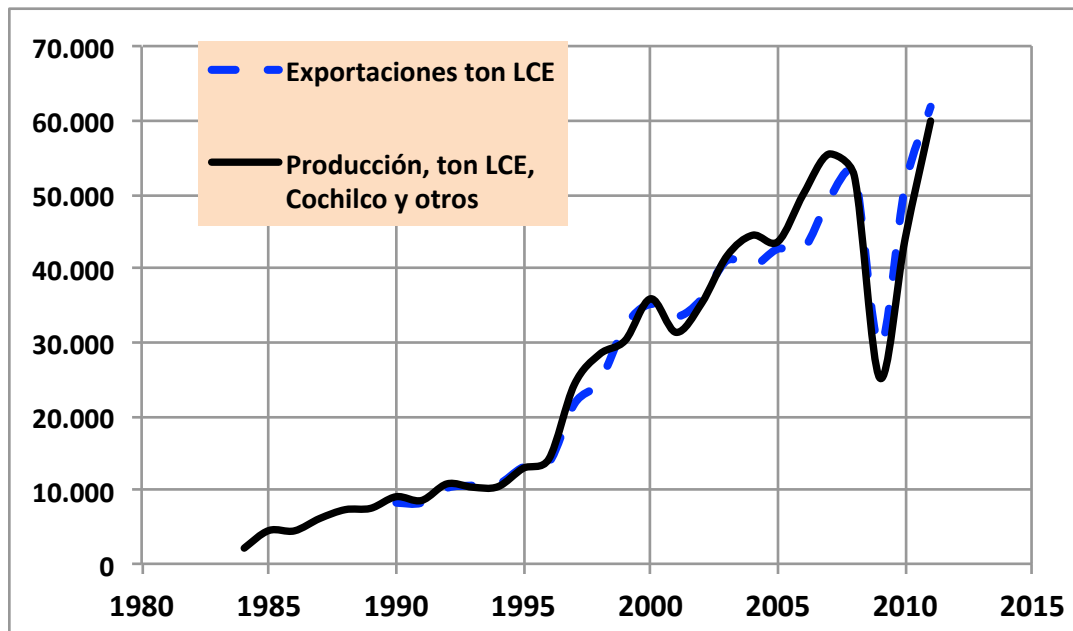


Figura 4: Producción de litio expresado en toneladas de LCE, entre 1984 y 2012. La producción de Chile fue adoptada desde Roskill entre 1984 y 1989 y de los anuarios de Cochilco (línea correspondiente a toneladas de carbonato de litio) desde 1990 en adelante. Las exportaciones fueron obtenidas de los registros de exportaciones entre 1990 y 2001. Entre 2002 y 2012 se consideró la base de datos de Comex.

Lo más importante que muestra la Figura 4 es la entrada en producción de SCL en 1984, de SQM en 1996, y la reducción de producción de ambas empresas en 2009.

La producción de litio mundial bajó un 27% en 2009 debido a la crisis económica global de 2008. En 2010 la demanda se recuperó al nivel de 2008, persistiendo una sobrecapacidad de producción de alrededor de 30%<sup>38</sup>, la que sería más del 40% a partir de 2012 debido a las expansiones de capacidad mencionadas. Cuando hay sobrecapacidad es usual que se generen guerras de precio, para sacar del mercado la producción de mayor costo.

## 8- El precio.

El precio del carbonato de litio a nivel global se estabilizó en niveles de cerca de 7 mil dólares (2010) por tonelada con la inauguración por parte de Foote Mineral Company de la explotación de litio a partir de salmueras en el Salar de Silver Peak, en Nevada, en 1966 (Figura 5). El precio del carbonato de litio expresado en moneda constante había venido cayendo en forma lineal, con

<sup>38</sup> K. Evans, 2010: Keith Evans, The Northern Miner, 18 octubre 2010

breves perturbaciones, desde 1936<sup>39</sup>, el registro más temprano encontrado. Este nuevo yacimiento permitía introducir nuevos usos del litio ya que el costo de explotación era considerablemente inferior al de explotar litio a partir de minerales como las pegmatitas, lepidolitas, petalitas y otros, explotados hasta entonces.

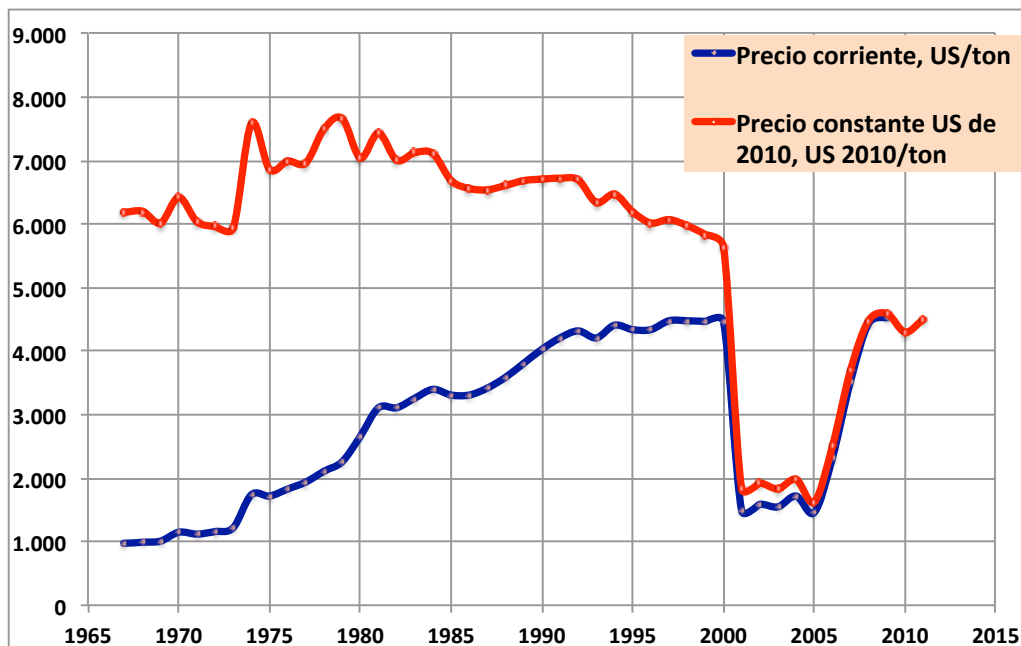


Figura 5: Precio del carbonato de litio en EE.UU., expresado en dólares corrientes o nominales (de cada año) y en dólares constantes de 2010 por tonelada de carbonato de litio. Dólares de 2010 fueron calculados usando el índice de productos al consumidor, IPC, de los Estados Unidos. Fuentes de precios corrientes: desde 1966 a 2009 (USGS 2010); precios de 2010 y 2011 obtenidos de la Revista Industrial Minerals en los EEUU.

El precio del carbonato de litio, a diferencia del de algunos metales, sufrió variaciones insignificantes durante la recesión experimentada por los Estados Unidos en 1969. Para algunos metales, dicho precio experimentó un aumento importante al comienzo de la crisis del petróleo en 1974, pero a diferencia de los metales, el precio del carbonato de litio se mantuvo relativamente estable durante y después de este evento, y en un nivel significativamente superior (15%) al periodo previo. Tampoco la crisis económica global que comenzó en 1979, también debido al petróleo, y que culminó en 1982 con un descenso importante del PIB de los Estados Unidos y global, afectó mayormente el precio del carbonato de litio.

Entre 1966 y 1997, el precio osciló entre un mínimo de 6.019 US\$ (2010) por tonelada en 1997 y un máximo de 7.666 US\$ (2010) por tonelada en 1979, es decir una diferencia máxima de 27%. En el mismo período la diferencia entre precio mínimo y máximo para el cobre en moneda constante fue 376%. Desde 1979 a 1982 Foote y Lithco elevaron los precios al menos una vez por año, manteniendo los incrementos equivalentes.

La crisis Asiática que comenzó en 1997 sumada a la entrada en producción del proyecto Minsal en Chile por parte de SQM en 1996 y del Salar de Hombre Muerto en Argentina por parte de FMC (ex Lithco) en 1997, desplomaron el precio hasta que este llegó a un mínimo de 1.623 US\$ (2010) por tonelada en 2005. Es presumible que SQM forzó la reducción del precio con objeto de sacar del

<sup>39</sup> El precio de 1936 fue de 44 mil dólares por tonelada de carbonato de litio.



mercado aquellos productores que tenían costos mucho más altos. De hecho, los productores en los EEUU. cerraron sus operaciones. La entrada en producción de SQM significó que el duopolio, conformado por Foote y FMC (ex Lithco) que existía hasta entonces se transformó en triopolio.

El precio se recuperó con el auge de commodities generado por China a partir de fines de 2005 hasta la crisis económica global de 2008, la que fue de corta duración, sin embargo, debido a la inyección de cuantiosas sumas por parte de los bancos centrales de los Estados Unidos, la Unión Europea, China, Japón, y otros países. A fines de 2008, después de sólo 3 a 4 meses de crisis, se tocó fondo, y desde enero de 2009 la situación mundial comenzó a recuperarse hasta llegar al nivel promedio de 2009 de 4.593 US (2010) por tonelada, aún muy inferior al nivel de precios que había en 1997. El precio del carbonato durante 2010 y 2011 fue similar al de 2009, situándose en los 4.500 US\$/ton en 2011 y en cerca de 5.000 en 2012.

Un análisis de año a año de la política de precios de las principales empresas productoras de litio lleva a la conclusión que desde 1953 hasta 2011 éstas redujeron el precio un 20% con respecto al índice de precios al consumidor de los Estados Unidos. Durante numerosos años de este largo período, estas empresas aumentaron el precio tanto como la inflación en el año anterior, y en otros, años de crisis o dificultades para la industria, lo redujeron significativamente. Estas últimas se produjeron en las décadas de los 50 y 60, y en dos ocasiones desde 2000.

En cuanto al aumento del precio del carbonato de litio, se identificó cuatro eventos desde 1953 en que la industria elevó significativamente el precio<sup>40</sup>, por sobre la inflación del año. El primero fue con ocasión del programa nuclear de los Estados Unidos en 1954, el segundo fue con la primera crisis del petróleo en 1974, el tercero fue con la segunda crisis del petróleo en 1979, y el cuarto y último fue con el auge de commodities generado por China a partir de 2004.

El aumento de precios de prácticamente todos los commodities en 1974 y poco después en 1979 fue generado por el aumento de los costos de explotación debido a que el petróleo aumentó su precio desde 3,3 US\$/barril<sup>41</sup> en 1973 a 11,5 US\$/barril en 1974, y desde 12,8 US\$/barril en 1978 a 35,7 US\$/barril en 1980. El comportamiento del precio y de la producción de los principales commodities minerales, fue significativamente distinto en las recesiones económicas globales que se generaron debido al aumento del precio del petróleo en 1974 y 1979-1980, y está relacionado con la situación específica de oferta, demanda y sobrecapacidad de cada industria.

Se ha mencionado con insistencia en diversos medios en Chile<sup>42</sup> que debido a la mayor demanda, el precio del litio debería aumentar en forma relevante en el futuro. Entre 1984 y 2011 la demanda se elevó en un estimado de 3,6 veces, y sin embargo el precio real del carbonato y de otros compuestos de litio descendió. No es claro que una mayor demanda en el futuro gatille mayores precios. Lo que puede hacerlo, y lo está haciendo en gran medida, es el aumento del costo de los insumos, por ejemplo el de ceniza de soda requerida para el procesamiento de las salmueras. En 2011 y 2012 hubo numerosos anuncios en diversas partes del mundo de aumento de los productos de litio debido a mayores costos. Otro factor que puede gatillar un aumento de precios es la escasez de oferta a un costo que sea superior al costo marginal de los proyectos actuales. No hay indicios, sin embargo, que los costos de proyectos en curso, incluso los que producen litio a

---

<sup>40</sup> Se entiende por significativo cuando la elevación del precio fue superior en 100% a la inflación del año anterior.

<sup>41</sup> Precios nominales

<sup>42</sup> Por ejemplo Antonio Leal en periódico electrónico El Mostrador, 18 de junio 2012, Santiago, Chile

partir de minerales, se acerquen o excedan el precio actual, de aproximadamente 5.000 dólares por tonelada de carbonato de litio.

La entrada de nuevos actores al mercado puede desbaratar el esquema de fijación de precios que tuvieron hasta ahora las compañías líderes del mercado<sup>43</sup>, introduciendo mayor volatilidad al precio, pero en ningún caso elevándolo. Por el contrario, se esperaría que de haber más actores y más competencia, el precio se redujera.

## **9- Costos**

Los costos de los productos de litio dependen del tipo de yacimiento del cual se extrajeron y de la ley o concentración de litio presente en dichos yacimientos. Pero también, en el caso de las salmueras, depende de las impurezas y de los otros componentes de estas, y del clima. Las impurezas y otros contenidos en las salmueras afectan el costo ya que es caro separar algunos elementos y sustancias. El magnesio es el ejemplo más importante en este respecto, por lo que salares con alto contenido de magnesio en relación a litio tienen mayores costos.

Según Pavlovic (2002), los yacimientos con bajo ratio entre magnesio y litio son el Salar de Zhabuye en Tibet, el que prácticamente no contiene potasio, Salton Sea en California<sup>44</sup>, el Salar del Hombre Muerto en Argentina, el Salar de Silver Peak en Nevada, y el Salar de Atacama<sup>45</sup>. El Salar de Uyuni, en tanto, con los mayores recursos de litio del planeta, tiene un ratio magnesio litio 3,4 veces mayor que el Salar de Atacama, mientras que el Great Salt Lake en Utah tiene 39 veces más, y el Mar Muerto tiene 247 veces más.

La concentración de litio en la salmuera es el ingrediente clave de ésta para la potencial explotación económica del litio. Los salares, entre esta lista, con mayor concentración promedio de litio, en orden decreciente, son: Atacama (0,15% en peso), Zhabuye (0,097%), Hombre Muerto (0,062%), Uyuni (0,035%), Silver Peak (0,023%), Salton Sea (0,022%), y el Great Salt Lake y el Mar Muerto con 0,004% y 0,0015% respectivamente.

El clima es clave también por cuanto la evaporación solar de sales es muy disímil en los diversos salares, tornando este método en inviable económicamente en muchos salares, y haciendo necesario introducir métodos más caros que la evaporación. Entre los salares en producción en la actualidad, los que usan evaporación solar son el Salar de Atacama y el de Silver Peak, mientras que el Salar de Hombre Muerto tiene lluvias en verano, una menor tasa de evaporación, y reduce el volumen de salmuera a evaporar mediante absorción selectiva del litio.

Hay muchos otros salares con presencia de litio aparte de este breve listado. Entre los otros salares con presencia de litio están los de Coipasa y Empexa en Bolivia, los Salares de Rincón (0,033% Li), Cauchari (0,052%) y Olaroz (0,058%) en Argentina, y más de 30 salares en China (Pavlovic 2002, Roskill 2009). En los tres salares argentinos antes señalados hay proyectos de litio con avanzados estudios a nivel de factibilidad.

---

<sup>43</sup> En la actualidad son cinco las grandes, Talison Lithium, SQM, Chemetal/Rockwood, FMC, y Galaxy Resources.

<sup>44</sup> Salar de origen geotérmico.

<sup>45</sup> Con ratio de 6,4 magnesio/litio.

Pavlovic (2002) indicaba que las salmueras con litio proveniente de campos petrolíferos tenían concentraciones de entre 0,006 y 0,022%, es decir lo máximo de litio que contenían era 6,8 veces menos que el Salar de Atacama. La complejidad química de estas salmueras no las haría atractivas económicamente hasta que se desarrollaran tecnologías apropiadas, que dieran cuenta, entre otros factores, de su alto contenido de magnesio. Respecto a las salmueras geotermales, Pavlovic (2002) escribía que su concentración de litio era como máximo 3,7 veces menor que las del Salar de Atacama, y además que estaban a alta temperatura y tenían numerosas y complejas impurezas, tales como hierro, manganeso, sílice, plomo, magnesio, etc.

El litio en arcillas fue descubierto en la localidad de Hector en California durante los años 1970. De ahí salió el nombre Hectoritas para denominar estas arcillas tan ricas en litio como las pegmatitas (Pavlovic 2002). También se descubrió otros yacimientos similares en el oeste de los Estados Unidos. El yacimiento de Hector era explotado ya en 2002 en pequeña escala y sus productos de litio (geles) eran utilizados directamente para usos en cosmética, en pinturas y en lodos de perforación. El costo de fabricar carbonato u otras sales de litio a partir de hectoritas, era alto, sin embargo, por cuanto había que romper la firme estructura cristalina de las arcillas. Por ello no se pensaba que estos yacimientos pudieran ser explotados en gran escala para extraer litio con la tecnología disponible en 2002. Sin embargo, en los últimos años, la empresa Western Lithium USA Corp. (WLC) ha investigado exitosamente un proceso de extracción de litio a partir de su depósito de hectorita de Kings Valley, Nevada, que utiliza un proceso de calcinación inicial de la arcilla (0,35-0,36% Li) con anhídrita (CaSO<sub>4</sub>) y dolomita. El proceso global, ahora mejorado, fue desarrollado inicialmente por el US Bureau of Mines en los años 80. El proceso de WLC permite recuperar sulfato de potasio y sulfato de sodio como subproductos lo que haría rentable la extracción del litio. La investigación básica a nivel de laboratorio del proceso de recuperación del sulfato de potasio y sulfato de sodio, junto al litio, fue realizada en 2009 y 2010 en la Universidad de Antofagasta<sup>46</sup>.

La evidencia muestra que la instalación de baterías de litio en automóviles eléctricos no depende del precio del litio, pues este representaba cerca de un 1% del costo de dicha batería en 2009. Por ello incluso si el precio del litio se duplicaba, ello no representaría un impedimento para el uso de este metal en dicha aplicación<sup>47</sup> (Evans 2009).

Sustanciando las consideraciones anteriores, en 2011 los costos para producir sales de litio a partir de salmueras era de 1.000 a 1.760 US\$/ton LCE en el Salar de Atacama en Chile, de 1.760 a 2.650 US\$/ton LCE en el Salar de Hombre Muerto en Argentina, de 2.200 a 2.870 US\$/ton LCE en salares en los EEUU., y entre 1.760 y 2.650 US\$/ton LCE en los salares Taijanair y Zhabuye en China<sup>48</sup>. Yaksic (2009) menciona valores un poco superiores para la producción de litio en el Salar de Atacama. Es esperable que los costos de producir litio en los otros salares en Chile serán superiores a los costos del Salar de Atacama.

---

<sup>46</sup> Comunicación personal de Pedro Pavlovic.

<sup>47</sup> Evans argumentaba que una batería de 2 Kilowatt horas requiere 6,6 lbs de LCE, lo que considerando un precio de 2,8 US\$/lb (2009) arrojaba un total de 18,5 US\$. Doblar esto a 40 US\$ en una batería que costaba varios miles de dólares no constituiría una limitación económica, menos aún considerando que el auto costaría 20 mil dólares o más.

<sup>48</sup> Presentación de Andrés Mac Lean, Vicepresidente de Cochilco, 2011, Santiago, Chile.

## **10- Valor agregado**

Los metales y concentrados que Chile produce a partir de yacimientos, como el cobre, el litio, el oro, y otros, contienen altísima tecnología, y, por ende, valor agregado. Chile no exporta rocas. El litio, el cobre y otros metales no se recogen de la tierra como las moras, desde el borde del camino.

El valor agregado es igual al valor bruto de la producción, es decir a sus ventas, menos el consumo intermedio, es decir los costos que no constituyen valor agregado en sí. Los costos salariales, de construcciones, si es que hay alguna, y algunos costos financieros, constituyen valor agregado. Entre estos, el más importante en una empresa que produce minerales, son los salarios.

Si se aplica la fórmula anterior, adoptando el valor superior de costos del Salar de Atacama (1.760 US\$/ton de carbonato de litio), el valor agregado para una tonelada de carbonato de litio era igual en 2011, al precio (4.500 US\$/ton) – el costo (1.760 US\$/ton) + costo salarial por tonelada de LCE. Supongamos que este era 20% de los costos totales, es decir 352 US\$/ton. Entonces el valor agregado por tonelada LCE era de 3.100 US\$/ton. Este se repartía, considerando un Royalty de 6,8% sobre las ventas y un impuesto de 35%, de la siguiente forma: un 11% en empleo, un 38% en impuestos, y un 51% para la empresa. Para este mismo ejemplo, el impuesto recaudado por el Estado como porcentaje de las utilidades totales habría sido 42%<sup>49</sup> y las utilidades de la empresa, 58%.

Por otra parte, supongamos que el costo de fabricar hidróxido a partir de carbonato es de mil dólares adicionales por tonelada de carbonato de litio. El cálculo es un poco más complejo ya que hay que considerar el precio del hidróxido de litio en 2011, el que fue 5.091 US\$/tonelada de hidróxido monohidratado, y el contenido de litio en el hidróxido el que es inferior al del contenido de litio del carbonato. Ello significa que para fabricar una tonelada de hidróxido de litio monohidratado hay que utilizar 0,88 toneladas de carbonato de litio<sup>50</sup>. Tomando en cuenta estos factores, el valor agregado de producir hidróxido de litio a partir de una tonelada de carbonato de litio en este ejemplo habría sido 3.575 US\$, es decir, un 16% más que el de producir carbonato de litio. En este ejemplo, y a los precios considerados, se agrega valor al país produciendo hidróxido. Ahora, el análisis desde la perspectiva de una empresa se hace en función de la rentabilidad y no del valor agregado. Hay diferencias entre los dos análisis.

La producción de un compuesto de mayor valor y de contenido de litio comparable, a un costo que no sea proporcionalmente superior al mayor precio, redundaría en mayor valor agregado. El diferencial de precio entre el hidróxido de litio y el carbonato de litio varió en forma relevante en la última década, pero fue superior al del carbonato, excepto a mediados de los 70 cuando, posiblemente, estuvo distorsionado debido a la venta de inventarios que realizaron los programas nucleares de los Estados Unidos y de la URSS. El precio del hidróxido llegó a ser tres veces superior en términos de litio contenido en cada compuesto. Desde 2009 el valor relativo de estas sales siguió variando, pero esta vez en torno a un factor de 1,3.

SQM tiene la planta mayor del mundo de transformación de carbonato de litio a hidróxido de litio. Está ubicada en el Salar del Carmen, en la salida norte de Antofagasta. Los Chinos, sin embargo,

<sup>49</sup> Incluido Royalty e impuesto a la renta.

<sup>50</sup> Considerando una eficiencia del 100% del proceso. Es usual que la eficiencia sea al menos 5% menor.

desarrollaron una tecnología más barata para transformar el espodumeno directamente a hidróxido. Una de las investigaciones que se estaría haciendo en Chile es para desarrollar un proceso que transforme la salmuera purificada directamente a hidróxido.

Otros productos de litio tienen mayor valor agregado que el hidróxido, pero también tienen mercados mucho más reducidos. Estos mercados han sido desarrollados por Chemetall y FMC, y recientemente por empresas Chinas. SQM desarrolló la tecnología para producir Butyl litio en la última década, instalando una planta en Texas, EEUU. El Butyl litio tiene un mercado menor que el cloruro de litio<sup>51</sup>, pero aún considerable, y se usa como catalizador para productos farmacéuticos y para la fabricación de caucho sintético. El butyl litio es un producto altamente peligroso ya que puede explotar si es almacenado o transportado en forma incorrecta. Por ello las plantas de fabricación de este compuesto están ubicadas en las cercanías del usuario final y no era económico colocar esta planta en Chile<sup>52</sup>.

En la actualidad los productos de mayor pureza utilizados para la fabricación de baterías tienen mayor valor agregado. Sin embargo ello podría cambiar con la construcción de un exceso de plantas en el mundo, y especialmente en China, para realizar esta transformación. Es interesante observar la experiencia de Galaxy Resources, la que construyó una planta para transformar concentrado de espodumeno a carbonato de litio en China, y se apresta para construir una fábrica de baterías para e-bikes, también en China.

Desde la perspectiva de Australia, el valor agregado del empleo quedará en China, una parte crucial de los impuestos quedarán también en China. No es claro que las utilidades vuelvan a Australia ya que los capitales de Galaxy Resources son mayormente asiáticos. El know-how, sin embargo, debería quedar en la empresa, en Australia. Este tiene, por ahora, un valor intangible, el que sería valorizado a la hora de la venta de la empresa.

## **11- Investigación**

La investigación en litio en Chile se desarrolló al menos desde los años 60, liderada por geólogos, los que estudiaron la presencia de litio y otros elementos en el Salar de Atacama. Al mismo tiempo hubo un puñado de ingenieros químicos que habían estudiado la cristalización de sales en la Universidad de Chile y varios de ellos trabajaron con las empresas productoras de litio.

Al analizar la base de datos de los proyectos Fondecyt entre los años 1982 y 2011, que son aquellos que permiten el desarrollo de ciencia básica a nivel de investigadores individuales, se concluyó que hubo 24 proyectos sobre litio adjudicados en los últimos 30 años, menos de uno por año. Estos fueron desarrollados por 13 investigadores principales, el 71% de los proyectos fue sobre materiales de batería, el 17% sobre procesamiento de litio, y 12% sobre otros temas. El 30% de estos se desarrolló en la Universidad de Santiago, un 24% en la Universidad de Chile, un 17% en la Universidad de Antofagasta, un 15% en la Universidad Católica de Valparaíso, un 7% en la Católica del Norte, un 4% en la UTFSM y un 3% en la Comisión Chilena de Energía Nuclear. Desde 2001 el número de proyectos en litio se redujo.

---

<sup>51</sup> Incluyendo el cloruro de litio destinado a derivados

<sup>52</sup> Comunicación personal de P. De Solminihac, 2012.

En 1986 se realizó el Primer Simposio Chileno sobre el litio (Lagos 1986), y a fines de los 80 la Armada de Chile examinó un proyecto para instalar baterías de litio en los submarinos. Asimismo Enersis estudió un proyecto para instalar buses eléctricos en Santiago y en otras ciudades de Chile. También a fines de los 80 el Comité de Sales Mixtas de Corfo contrató varios proyectos de investigación en litio a diferentes instituciones en Chile. A fines de los 80 el Departamento de Energía de los Estados Unidos lanzó un proyecto de 10 años en conjunto con Ford Motor Company, General Motors y Chrysler, y con Argonne National Laboratory, con un financiamiento total de 2 mil millones de dólares para desarrollar baterías para automóviles eléctricos.

A principios de los 90 el grupo de investigadores en litio en Chile presentaron dos proyectos a Fondef (Fondo de Conicyt) de alguna envergadura para desarrollar materiales para baterías y procesos para la minería chilena. Ambos proyectos fueron rechazados por Conicyt. Con posterioridad el grupo de investigadores de las instituciones que habían ganado proyectos Fondecyt se disgregó debido a la falta de interés que mostró el Estado de Chile por promover la investigación en litio. Se realizaron dos simposios del litio durante los 90 pero el tema perdió fuerza.

En este mismo período SQM formó un Centro de Investigación y Desarrollo (I&D) de tecnologías del litio, el que a través de los años creó 16 patentes internacionales sobre procesos del litio. En la actualidad dicho Centro tendría 18 personas trabajando en I&D.

En noviembre 2010 la Universidad de Chile creó el Centro de Innovación del Litio con el apoyo de Chemetal/Rockwood, SQM y la empresa Marubeni. Este Centro tiene por objetivo resolver los cuatro de los grandes problemas asociados a las baterías de ión litio en los próximos 5 años, reducir su precio en 5 veces al actual, aumentar el rango de uso por carga a más de 300 kms, manteniendo su tamaño y peso actual, mejorar su velocidad de carga rápida a menos de 15 minutos, y extender su vida útil a más de 10 años de uso (más de 1.000 Ciclos de carga).

Los materiales que se utilizan en las baterías de ión litio en la actualidad fueron desarrollados a fines de los 70 y durante los 80. En esa época había varios cientos de investigadores en los países desarrollados que trabajaban en desarrollar nuevos materiales y métodos para baterías de litio. Ellos trabajaban en las principales universidades y Centros de Investigación del mundo, y en las principales empresas productoras de baterías a nivel global. Cualquiera que examine los Proceedings de las reuniones de la Sociedad de Electroquímica de los Estados Unidos y de la Asociación Internacional de Electroquímica, con base en Europa, puede constatar esto. La cantidad de recursos destinados a la investigación e innovación en materiales para baterías de litio suma varias decenas de miles de millones de dólares en las últimas tres décadas.

Por ello hay que considerar la loable iniciativa de la Universidad de Chile en crear un Centro de Innovación del Litio como una aventura casi romántica, ya que el estado es neutral a esta, y ha sido neutral en los últimos 30 años.

Para lograr que Chile se adelante en crear valor agregado en cualquier punto de la cadena de valor de los materiales y productos de litio, lo primero que hay que hacer es incentivar a la comunidad académica a involucrarse en el tema. Sin un numeroso grupo de personas de alta capacidad, preparación y experiencia, es casi imposible que Chile incursione en la creación de valor de los productos del litio, más allá de algunos procesos que se sitúan temáticamente muy cerca de los yacimientos, y que en consecuencia no pueden ser apropiados por instituciones o empresas que

no estén cerca de los yacimientos. No es casualidad que Galaxy Resources, la empresa australiana haya decidido desarrollar la cadena de valor de sus concentrados de litio en China y no en Australia.

## **12- Tahil vs Evans**

El último debate global sobre el litio se inició en diciembre 2006 (Tahil 2006) con la publicación por parte de William Tahil, Director de Meridian International Research, de un primer artículo llamado “El problema con el litio”<sup>53</sup>. Keith Evans, uno de los dos mayores expertos en reservas de litio del mundo<sup>54</sup> desde la década de los 70, respondió en marzo 2008 con un artículo titulado “Una abundancia de litio”<sup>55</sup> (Evans 2008-a). Tahil no hizo esperar su contra respuesta “El problema con el litio: 2” la que publicó en mayo 2008 (Tahil 2008). Evans se quedó con la última palabra, por cuanto respondió el segundo artículo de Tahil en junio 2008 (Evans 2008-b) con “Una abundancia de litio, parte 2”, y, finalmente en enero 2009, con un tercer artículo “Recursos de litio, ¿son estos adecuados?” (Evans 2009).

El debate pareció detenerse en 2009, pero sigue vivo por cuanto algunas de las interrogantes planteadas por Tahil no habían sido respondidas a la fecha de publicación de este trabajo. La tesis que planteaba el primer artículo de Tahil era, según sus palabras: “el mundo se ha enamorado de la batería de ión-litio. Mientras esto puede ser sostenible para bienes electrónicos portátiles, no es sostenible para aplicaciones en vehículos eléctricos”(Tahil 2006).

Tahil hacía un análisis de las reservas y recursos de litio para llegar a dicha conclusión. Las reservas consideradas eran 6,2 millones de toneladas de litio contenido, mientras que las reservas base<sup>56</sup> eran 13,4 millones de toneladas de litio contenido, sin incluir Rusia. Tahil descartaba las reservas base para su análisis de disponibilidad de litio para baterías en el futuro y adoptaba sólo el valor de reservas de 6,2 millones de toneladas, sumados a una cifra no conocida de reservas disponibles en el Salar de Uyuni<sup>57</sup>. Tahil agregaba, “Si el mundo cambiase el petróleo por litio, Sud América se transformaría en el nuevo Medio Oriente. Bolivia sería mayor foco de atención de lo que nunca fue Arabia Saudita. Los Estados Unidos dependerían, nuevamente, en fuentes externas para un mineral estratégico, mientras que China tendría un grado de autosuficiencia”. Más adelante Tahil explicaba cómo China lograba esto “Los chinos todavía producen algo de carbonato de litio a partir de espodumeno pero las reglas económicas normales no se aplican en China y esto es probable que cese cuando los recursos del Salar DXC comience la producción.

*“Si el mundo cambiase el petróleo por litio, Sud América se transformaría en el nuevo Medio Oriente”* escribió Tahil. Pero si el petróleo produce energía y el litio tan sólo la almacena en baterías, ¿cómo pueden estas reemplazar al primero?. Necesariamente la energía que recarga las baterías de litio debe venir de alguna parte. El problema básico de la generación de energía no se resuelve con las baterías, sólo se mejoran las emisiones y la eficiencia del uso del combustible, ya que estos últimos serán emitidos en un solo lugar, la planta que abastece de la electricidad que

---

<sup>53</sup> El artículo original se titula “The trouble with lithium”.

<sup>54</sup> El otro es Ihor Kunasz, ex geólogo jefe de Foote Mineral Company, y posteriormente de Chemetall, hoy retirado.

<sup>55</sup> An abundance of lithium.

<sup>56</sup> De acuerdo a la definición de reservas base del USGS, las reservas están contenidas en las reservas base.

<sup>57</sup> En 2006, así como en la actualidad, el litio del Salar de Uyuni era considerado como reserva base y no como reserva.

recarga las baterías, y no de miles de fuentes móviles, como los vehículos que circulan en la actualidad por las calles.

Tahil también descartaba de plano los depósitos de espodumeno para proveer litio para las baterías. Por ello el total de las reservas efectivas, sin contar las de espodumeno, que consideraba en 2006 era alrededor de 5 millones de toneladas de litio contenido.

En cuanto a las baterías señalaba que se necesitan 0,3 kg. de litio metálico por kilowatt hora (kwh) de capacidad. Una pequeña batería de 5 kwh. podría dar potencia a un vehículo híbrido conectable a la red eléctrica (PHEV)<sup>58</sup>. Por ello, en un escenario conservador, los 60 millones de automóviles que eran producidos anualmente en 2006 requerirían 90 mil toneladas de litio, equivalentes a cinco veces la producción mundial de litio de ese año. Agregaba que una batería de 5 kwh era marginal y que para impulsar un automóvil pequeño 32 a 48 kms de distancia antes de tener que conectarlo a la red eléctrica se requería una batería de 8 kwh. Por ello la producción total de litio de ese año habría alcanzado sólo para un 10% del total de automóviles fabricados, es decir diez veces esta cantidad para proveer de baterías de litio para todo el parque automotriz.

Tahil (2006) basaba algunas de sus conclusiones principales en una tesis de doctorado de Bjorn Anderson en 2001 de la Universidad de Chalmers en Suecia (Anderson 2001). La tesis comparaba la tecnología de nueve sistemas de baterías y concluía que no había certeza que hubiese suficiente litio para 200 millones de autos eléctricos, lo que resultaba ampliamente insuficiente ya que en esa época había 900 millones de automóviles en circulación en el mundo. Además Tahil ampliaba su análisis a algunos sistemas de baterías no analizados por Anderson basados en cinc y hierro, de menor costo y mayor accesibilidad productiva. Dichos sistemas<sup>59</sup> constituían uno de los programas de investigación preferidos por Meridian International Research en 2011, según lo indicaba el sitio web de dicha organización<sup>60</sup>. Tahil postulaba que estos sistemas de baterías podrían ser producidos para todos los vehículos eléctricos del mundo, cerca de mil millones en 2006, y que sólo un 3% de las reservas y recursos de zinc del mundo serían requeridas, en comparación con el 24% de las reservas y recursos de litio.

Tahil agregaba que de producirse todo el litio necesario para la totalidad de los vehículos eléctricos, dicho metal tendría que provenir de los altiplanos de Bolivia, Chile y Argentina los que se encuentran a más de tres mil metros de altura sobre el nivel del mar, en regiones remotas, con temperaturas que fluctúan entre 25 C en el día y menos 25 C en la noche, sin infraestructura de caminos, teléfonos y electricidad. Billones de dólares en inversión serían requeridos durante una década para construir instalaciones productivas y de transporte. A continuación, Tahil señalaba que el primer productor mundial de esa época era Chile en el salar de Atacama, y que el segundo productor era Argentina en el Salar de Hombre Muerto, en que las relaciones con comunidades cercanas no eran de lo mejor. Tahil añadía en 2006 que considerando el crecimiento de la industria automotriz e incluso haciendo adelantos de la tecnología de litio, se requeriría pronto un millón de toneladas anuales de carbonato de litio o 368 mil toneladas de litio metálico, lo que equivalía anualmente a cerca de 2% de las reservas base de litio conocidas.

---

<sup>58</sup> En inglés "Plug in Hybrid Electric Vehicle".

<sup>59</sup> Se refiere a la batería de Zinc/Aire.

<sup>60</sup> <http://www.meridian-int-res.com/>



Respecto a los costos Tahil afirmaba que la batería de ión litio costaría cerca de 350 US\$ por kwh mientras que la batería de zinc aire llegaría a costar menos de un tercio de dicho valor. Una batería de zinc aire de 30 kwh. para un automóvil estaba proyectada a un costo de mil dólares en 1998, mientras que una batería de ión litio de la misma capacidad podría costar nueve mil dólares. En términos de la recarga, la batería de zinc aire podía ser reabastecida como un auto a gasolina, rápidamente, con un líquido viscoso para el electrólito y con zinc.

La respuesta de Evans en marzo 2008 proporcionó valores realistas de reservas y recursos y no entró en un debate con Tahil. De hecho Evans citó el artículo de Tahil de 2006 en una sola ocasión. Evans elaboró sus estimaciones a partir de las conclusiones del panel de litio del NRC en 1976, el que concluyó que las reservas y recursos de este metal eran 10,65 millones de toneladas de litio metálico contenido.

Tahil no tardó en responder a Evans y en mayo 2008 publicó su segundo artículo, "El problema con el litio:2". En este concluía que la producción masiva de carbonato de litio no era posible de ser explotado sin dañar fuertemente el medio ambiente, por lo que la batería de ión litio era incompatible con la noción de "automóvil verde". Además concluía que la alta concentración geográfica de los yacimientos de litio exacerbaría las ya estresadas relaciones entre los Estados Unidos y América Latina.

Respecto a las reservas y recursos Tahil escribía que la estimación de Evans incluía depósitos que contenían desde 8 partes por millón de litio hasta 3 mil ppm, y que el total dado por Evans era de 28 millones de toneladas de litio, comparado con los 11 millones citados como reservas base por el USGS. Tahil llegó tan lejos como rebajar su estimación de reservas desde cerca de 5 millones de toneladas de litio contenido en diciembre 2006 a 4 millones.

El razonamiento que le hizo llegar a esta conclusión fue diverso.

Tahil cuestionó las reservas y recursos del Salar de Atacama, en particular las exploraciones de SQM en la década del 2000 que habían elevado la estimación de los recursos de litio del salar de Atacama desde 4,29 millones de toneladas a 6,9 millones de toneladas por cuanto estas exploraciones descendieron de la cota de 40 metros bajo la superficie, llegando hasta 200 metros. De acuerdo a Tahil (2008) la porosidad se reduce exponencialmente a mayor profundidad, con lo que bajo 40 metros esta sería prácticamente cero, y habría presencia de roca sólida constituida exclusivamente por halita o sal común (Kogel 2006). "Bajo la cota 30 metros no hay litio en el Salar de Atacama" señalaba Tahil en su segundo artículo. "Extraer litio desde 200 metros de profundidad es imposible". "La afirmación que de 6,9 millones de toneladas de litio hasta 200 metros no considera estos factores y constituye, por ello, una fuerte exageración".

Además, argumentaba que el núcleo del salar, en donde las salmueras tenían altas concentraciones de litio, se encontraba en una superficie de 30 kms cuadrados, y que antes de comenzar la explotación por parte de SCL en 1986 contenía 450 mil toneladas de litio metálico<sup>61</sup>, es decir 6,5% del total de los recursos que se reporta habría en el salar. Más adelante afirmaba que la firma Británica Hydrotechnica había estimado que la porosidad del salar en el núcleo más rico en litio era 4,4% y no 10% como había estimado Corfo. Por ello las 450 mil toneladas de litio que estarían contenidos en dicho núcleo serían 200 mil toneladas, lo que significaba que la mitad

---

<sup>61</sup> Por sobre la cota de 35 metros, que es la que Tahil indica como la franja explotable económicamente.

de estas reservas habrían sido extraídas ya desde el salar desde 1986. Por ello, concluía que el USGS había estimado las reservas totales del salar en 3 millones de toneladas de litio, y considerando que se recuperaba un 50% sólo en las partes mediana y altamente ricas de litio, “las reservas recuperables no pueden exceder un millón de toneladas”.

Agregaba que extraer el 50% de las reservas de litio del salar tomaría muchas décadas y lo destruiría. En línea con este pensamiento Tahil exploraba la expansión productiva anunciada para los próximos años, desde las 10 mil toneladas de litio metálico extraído en 2007 al doble, y concluía que ello crearía impactos ambientales considerables al ecosistema del salar.

Respecto al Salar de Hombre Muerto, Tahil estimó que las reservas extraíbles serían 375 mil toneladas en vez de las 850 mil toneladas reportadas por FMC. Respecto al Salar de Uyuni Tahil indicó que las reservas extraíbles eran del orden de 600 mil toneladas, descartando la estimación de reservas base de 5,5 millones realizada anteriormente. Respecto al Salar de Rincón, con reservas y recursos estimados en 1,4 millones de toneladas, Tahil rebajó dicha estimación a 250 mil toneladas de litio. También descartó el potencial productivo de los salares de Searles Lake, Salton Sea, Smackover, Bonneville, Great Salt Lake y del Mar Muerto. Además, rebajó el potencial de los salares chinos desde 2,6 millones de toneladas a la mitad, el del Salar de Olaroz a casi la mitad, y, en cambio, aumentó el del Salar de Searles Lake a en más de tres veces, con respecto a la última estimación de Evans (2009).

A continuación Tahil procedió a descartar los recursos y reservas de litio en pegmatitas, hectoritas, en salares hidrotermales y petrolíferos. Quizás por error incluyó un solo pequeño yacimiento de pegmatitas en Finlandia. Por otra parte no hizo mención a los yacimientos de pegmatitas de Rusia y algunos de Canadá. De esta forma arribó a un total de reservas extraíbles de 4 millones de toneladas de litio contenido.

Evans en su artículo de enero 2009 respondió en detalle las estimaciones de Tahil señalando que los recursos indicados por este en 2006 eran de 6,2 millones de toneladas de litio, y que el origen de muchos de los números mostrados era desconocido, y que varios eran de su propia creación. Una cuestión que llamó la atención de Evans fue que Tahil descartaba todas las reservas y recursos que no fueran salmueras continentales. En particular descartaba las pegmatitas para la fabricación de baterías y sindicaba sólo las salmueras como reservas económicas y viables para baterías. Evans hacía recuento de los criterios utilizados por el Panel de NRC, de los Estados Unidos en 1976, afirmando que ahí se habían identificado todos los recursos y reservas que podrían ser explotados en un contexto de alta demanda. La Figura 6 muestra las estimaciones de recursos y reservas por sobre 200 mil toneladas realizadas por Tahil en 2008 y por Evans en 2009.

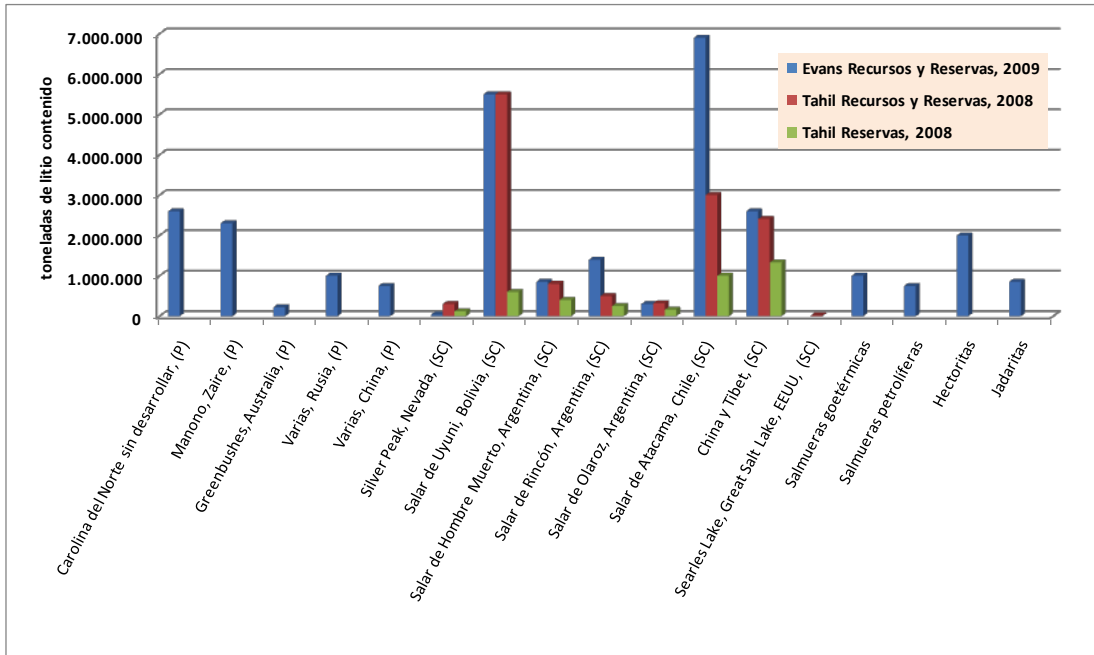


Figura 6: Estimaciones de Evans 2009 y Tahil 2008 para recursos y reservas, y estimación de Tahil para reservas. Se muestran sólo recursos y reservas por sobre 200 mil toneladas de litio contenido.

El escenario de alta demanda que estaba vigente en 1976, cuando se pensaba que las nuevas baterías y los reactores de fusión estaban a la vuelta de la esquina. Por ello no se sintieron restringidos por las “estrictas” definiciones sobre reservas del USGS, uno de cuyos expertos formó parte del panel. La definición de reserva del USGS era “material que puede ser producido económicamente al momento de la determinación, con una tecnología dada y con el precio de mercado del momento”. El problema con esta definición es que los precios cambian, aumentan con mayor demanda, y la tecnología se desarrolla. Un ejemplo de esto último fue el desarrollo de la tecnología para separar el magnesio del litio, la que permitió transformar en reservas las salmueras de numerosos salares en el mundo.

Por otra parte, Evans afirmaba que la tecnología para producir carbonato de litio a partir de espodumeno era bien conocida y ya aplicada en China, y que era cuestión que la demanda creciera para activar los proyectos que se requirieran. Respecto al litio proveniente de otros tipos de yacimientos, señalaba que se estaba trabajando en el desarrollo de tecnologías extractivas, incluida la jadarita descrita anteriormente, y que se podía lograr un concentrado de buena calidad mediante separación magnética, y que la producción de carbonato de litio a partir de dicho concentrado era simple.

Evans enfatizó que en el segundo artículo de Tahil este se había contradicho por cuanto descartó las pegmatitas pero afirmaba al mismo tiempo que la producción de carbonato de litio de alta pureza, requerido por las baterías, era más barata y viable a partir de estas que a partir de salmueras.

El tercer artículo de Evans (2009) fue incisivo por cuanto explotó cada uno de los errores detectados en los artículos de Tahil. Por ejemplo, este autor descartó el gran yacimiento de Zaire (Manono) indicando que era un recurso “especulativo”. Dicho yacimiento fue reportado en forma precisa por el panel de NRC en 1976, el que hacía mención a la recuperación obtenible y leyes del

mineral. También Tahil desconocía en sus artículos que el yacimiento de Bikita en Zimbabwe había sido explotado por muchos años a partir de la segunda guerra mundial. De hecho, una parte importante de las reservas estratégicas de los Estados Unidos fueron procesadas a partir de estos minerales en los años 50. Respecto a las pegmatitas Evans también indicaba que Tahil había citado erróneamente la ley de litio de los yacimientos de Carolina del Norte.

Respecto a las salmueras continentales, Evans fue implacable con Tahil, afirmando que este era conocido por sus teorías conspirativas. Para ello citó un artículo escrito por Tahil en 2006 cuyo subtítulo decía “Prueba incontrovertible que el World Trade Centre fue destruido por explosiones nucleares subterráneas”. De la misma manera, según Evans, Tahil escribió que cualquier aumento de las reservas del Salar de Atacama en el tiempo era sospechosa y “la verdad incontrovertible” es la que él decidió, unilateralmente, como reservas para dicho salar.

Sobre los recursos del Salar de Hombre Muerto, Evans afirmaba que la estimación de Tahil era correcta y que si este hubiese aplicado el mismo criterio al Salar de Atacama, los recursos de este habrían crecido a 10 millones de toneladas de litio. Además, agregaba, “un tercio de las reservas de Hombre Muerto están entre 40 y 70 metros de profundidad, una profundidad a la que Tahil señalaba que no podía haber litio”.

Sobre el Salar de Rincón, Tahil sospechaba del aumento de recursos y reservas reportado por la compañía Admiralty Resources<sup>62</sup>, aunque este aumento se generó debido a una campaña de sondaje de todo el salar, mientras que las cifras anteriores involucraban solamente una parte del salar.

Respecto al Salar de Uyuni, la estimación de Tahil coincidía con la de Evans, aunque algunas de las otras cifras reportadas por el primero estaban equivocadas, lo que atribuía a una lectura errónea del reporte del NRC de 1976. La ventaja de Evans en este debate es que él participó como una de las figuras principales en la elaboración del informe del NRC.

Evans destinó más de dos páginas de su artículo de 2009 para explicar el equivocado razonamiento de Tahil respecto a las reservas y recursos (R&R) del Salar de Atacama, ya que, Tahil redujo la estimación de R&R de SQM a menos de la mitad. En síntesis, Evans indicaba que lo que Tahil había escrito sobre este salar era descabellado<sup>63</sup>. Entre los errores más destacables se contaba: la explotación del salar no comenzó en las áreas más ricas en litio sino que en aquellas áreas en que la química de las dos salmueras utilizadas se ajustaba al proceso que Foote había propuesto, el que estaba basado en tener alimentación de litio de la ley promedio del salar. Además su convenio con Corfo no consideraba recuperación de potasio; lo mismo con respecto a SQM quien tenía un solo pozo en el área más rica en litio y potasio. Por ello el supuesto de Tahil sobre la explotación de la parte más rica del salar primero era falsa; por último, Evans indicaba que la ley de litio se reduciría en el salar en la medida que avanzara la explotación, como en todo yacimiento. Pero incluso las leyes de litio al final de la explotación del salar de Atacama serían superiores en 45% a la ley de litio en el salar de Hombre Muerto, y 272% veces mayor que la del salar de Rincón.

---

<sup>62</sup> Esta compañía tiene la concesión para explotar el salar.

<sup>63</sup> Nonsensical.

Además, los extensos sondeos realizados por SQM ocurrieron en 2007 y debido a ellos esta compañía reportó que los R&R habían aumentado en 3,4 millones de toneladas. En 2008 SQM reportó nuevos sondeos y aumentó los R&R totales de litio a 6 millones de toneladas, indicando que la tecnología utilizada en esta prospección era muy superior a las tecnologías indirectas, tales como las inferencias geofísicas, utilizadas hacía más de 30 años. Por ello el aumento asignado por Evans a los R&R del salar eran justificables.

En referencia a los R&R Tahil no descartaba el potencial productivo de las salmueras geotermales ni petrolíferas, pero tampoco las contabilizaba. Tahil tampoco asignó R&R a las hectoritas. Y no consideró, por ser muy nuevas, los nuevos recursos reportados por Rio Tinto cerca de Belgrado en Serbia. Estos eran las jadaritas, ya mencionadas anteriormente.

Evans no consideraba digno de respuesta la aseveración de Tahil respecto al estado de guerra de los activistas argentinos en contra de la explotación de los salares de dicho país. Y menos consideró responder la afirmación de Tahil sobre la preparación de la "Cuarta Flota" de los Estados Unidos, para mantener América Latina bajo control. En referencia a la destrucción del salar de Uyuni argumentada por Tahil debido a la extensa explotación que se requeriría, Evans afirmaba que la explotación involucraría sólo una decena de los 9 mil kilómetros cuadrados. Respecto al salar de Atacama, Evans afirmaba que las dos compañías que ahí operaban estaban en cumplimiento pleno de todas las leyes ambientales, las que tenían estándares internacionales, y además, las dos compañías eran fuertemente fiscalizadas.

No hubo respuesta de Tahil a la publicación de Evans de 2009.

### **13- Tahil y el futuro de las baterías**

Como ya se había mencionado, la superioridad científica de una batería basada en litio no está en discusión debido a las características intrínsecas de este metal, el más liviano de la naturaleza y el que puede generar mayor diferencia de voltaje entre todos los elementos de la tabla periódica. Lo que estaba en discusión en el pasado, en 2001, antes, y después hasta 2008-2009, era la superioridad tecnológica de otros sistemas de baterías.

Ello era no sólo posible, sino que muy probable en esa época. Los sistemas de baterías, tanto de litio, como competidores en 2011, han estado en escena desde los 70 y 80.

Pero los hechos dicen más que las palabras, y estos eran incontrovertibles en agosto 2011. Todos los fabricantes importantes que comercializaban automóviles eléctricos, habían adoptado la batería de ión litio. La siguiente es la lista de modelos de automóviles comercializados en 2011:

- Coda, con valor de 37.400 US\$, con 134 caballos de fuerza (HP), una batería de 33,8 kwh con garantía de 8 años o 161 mil kilómetros, y alcance de 190 kms.
- Mitsubishi i-MIEV con valor de 20.490 US\$, 63 HP, con una batería de 16 kwh, alcance de 160 kms, con garantía de 5 años.
- Nissan Leaf, 27.700 US\$, 107 HP, con una batería de 24 kwh, alcance de 100 kms, garantía de 8 años o 161 mil kilómetros.
- Tesla Roadster, 109 mil US\$, 248 HP, con una batería de 53 kwh, alcance de 390 kms, garantía de 7 años o 161 mil kms.

- Chevrolet Volt, 32.780 US\$, 149 HP, híbrido enchufable, con una batería de 20 kwh, alcance 56 kms en modo batería, y 600 kms en modo híbrido, garantía de batería de 8 años- 161 mil kms.
- Fisker Karma, 79.900 US\$, 403 HP total, con batería de 20 kwh, alcance eléctrico 80 kms, alcance híbrido 402 kms, 10 años de garantía, o 161 mil kms.
- Honda Civic, 24 mil US\$, híbrido, 110 HP, con batería de 20 kwh, alcance de 210 kms.
- Honda FCX Clarity, lease por 3 años 600 US\$/mes, híbrido batería – celda de combustible, 386 kms de alcance.
- Honda Fit, en base a batería de ión litio, por anunciarse.

No se encontró automóviles eléctricos comerciales de marcas mayores que fuesen impulsados por baterías otras que de ión litio. Había en 2011 varios automóviles híbridos (Toyota Camri, Toyota Highlander, Toyota Prius, Ford Fusion, Ford Escape, y Honda Insight) que utilizaban baterías de níquel hidruro metálico. Pero la evidencia era que dichas baterías serían reemplazadas por la tecnología de ion litio.

El costo del litio en las baterías fue adoptado a partir de los datos de Rockwood<sup>64</sup> (2011), los que consideraban que cada kwh de energía requería 2 lbs. de carbonato de litio<sup>65</sup>, el costo de carbonato de litio calidad baterías era, aproximadamente, 5 mil dólares por tonelada en 2011, por lo que una batería de 10 kwh tendría 20 lbs de carbonato de litio, los que costaban 45,4 US\$. Es decir el litio de la batería del Coda<sup>66</sup> habría costado cerca de 153,4 US\$ en 2010, con el valor del automóvil siendo 244 veces mayor que el del litio. En el caso del Mitsubishi i-MIEV el valor del auto era 282 veces mayor que el valor del litio. Ello significaba que el valor del litio constituía menos del 0,5% del valor del automóvil, por lo que podría duplicarse o triplicarse sin afectar la viabilidad económica de estos automóviles. Si se adopta la relación propuesta por Evans (2009) de 3,3 lbs. de carbonato de litio por cada kwh de energía, hay que multiplicar los costos descritos antes por 1,65, de tal forma que el litio pasaría a costar 0,7% del automóvil, aún una cifra modesta.

Otro indicador incontrovertible fue el número de investigaciones que se reportan cada año en el mayor foro global sobre materiales y sistemas de baterías, las dos reuniones anuales de la Sociedad Electroquímica de los Estados Unidos. Si a fines de los 70 uno de cada tres trabajos eran sobre baterías de litio, en 2010 más del 90% era sobre este metal.

Estos indicadores eran más poderosos que cualquier diagnóstico hecho por una persona, por muy experto que fuera.

Tahil no consideró que la industria de todos los minerales se desarrolla por incentivos, y que centenares de nuevos yacimientos han sido reportados desde que publicó su segundo artículo. En particular se descubrió desde entonces los recursos de Afganistán, que elevarían las reservas y recursos reportados por Evans en 2009 a más del doble. Además Tahil despreció el efecto del desarrollo tecnológico sobre los costos de producción del litio.

---

<sup>64</sup> Empresa dueña de Chemetall.

<sup>65</sup> 0,167 kgs de litio metálico (167 gms) proporciona una energía de 1 kwh.

<sup>66</sup> El litio metálico pesaba 12,45 kgs (67,6 kgs de carbonato de litio), según la relación energía peso de Rockwood 2011.

Tahil mencionó el reciclaje en su segundo artículo, indicando que el reciclaje de baterías de ión litio alcanzó cerca de las 600 toneladas en los años 2005 y 2006 en Europa. Es obvio que el reciclaje de litio cumpliría un rol mucho más relevante que el que aún se ha considerado hasta ahora en proveer las necesidades futuras para transporte, energía y otras funciones, restando presión a la producción primaria<sup>67</sup>.

Las consideraciones políticas que realiza Tahil sobre Latinoamérica son sencillamente increíbles. Respecto a Chile sugiere que es preocupante el que la Comisión de Minería del Senado haya cuestionado la legalidad de los contratos suscritos con Minsal y SCL hace ya más de 20 años. A continuación se muestra expectante respecto al futuro político de América del Sur debido a líderes de la izquierda tales como Hugo Chavez, Evo Morales, Luiz da Silva, Michelle Bachelet y Cristina de Kirchner. Bueno, no alcanzó a ver a Ollanta Humala, y por cierto el reemplazo de Michelle Bachelet por Sebastián Piñera y de Luiz da Silva por Dilma Rousseff. Y se le olvidó completamente Rafael Correa en Ecuador. Tahil señalaba “La tendencia es clara. La oferta de 70% del litio del mundo<sup>68</sup> caerá, crecientemente, bajo el control de los estados, de la misma forma que las exportaciones de petróleo son políticamente controladas por los países de la OPEC. A diferencia de la OPEC, la que ha compartido muy poca de la riqueza del petróleo con la población, los nuevos gobiernos de Sud América se ven así mismos más socialmente responsables, y a diferencia de los gobiernos anteriores, no están políticamente alineados con los Estados Unidos”. Agrega después, “En el clima actual de reducir la dependencia en petróleo foráneo, los Estados Unidos serían poco sabios de intercambiar esta, la que entablaron con países aliados, por la dependencia con países en donde ambos, la población y los gobiernos son adversos”.

Es importante comentar el artículo de 2006 de Tahil sobre “Peak Oil”, o la Cima del Petróleo en Español. Tahil la mencionaba en referencia a la elevación de costos del petróleo que se había observado desde que comenzó el auge económico de los commodities en 2004-2005, como una demostración que pronto se llegaría a una cima de producción de petróleo, después de lo cual habría que esperar sólo que la producción de petróleo comenzara a reducirse porque su precio sería demasiado alto y pocos lo podrían comprar.

Radetzki (2011) argumentaba que el boom de los commodities a que hice alusión, estimuló afirmaciones sobre el Cenit del Petróleo, el que postula que “la producción mundial de petróleo llegará a su culminación cuando la mitad de los recursos finalmente recuperables (RFR) de petróleo hayan sido explotados”. Esta teoría cuenta con una organización especializada, ASPO<sup>69</sup>, la que viene sosteniendo hace varias décadas que el cenit ocurriría muy pronto, ciertamente dentro de una década. Según Radetzki, ya en 1920 el actual Servicio Geológico de los Estados Unidos (hoy USGS) informó que el petróleo de ese país se agotaría antes del fin de la década. 80 años más tarde la producción de ese país había aumentado 6,9 veces. Pues bien, ASPO ha indicado esto nuevamente en este auge de los commodities. Radetzki agregaba que la teoría del cenit del petróleo “desprecia los análisis económicos y no presta atención a las consideraciones económicas”, y que “el caso claro del agotamiento es una situación en que la explotación se torna crecientemente más cara y los precios se elevan como consecuencia de ello, llevando a una caída en la demanda, nula en el caso extremo”. Y no hay reportada observación alguna de esta naturaleza con respecto al agotamiento de un recurso natural, ni en el siglo XX ni en este nuevo

---

<sup>67</sup> Producción de mina.

<sup>68</sup> El que estaría en los salares de Chile, Bolivia y Argentina.

<sup>69</sup> Association for the Study of Peak Oil.

siglo. Lo que sí hubo en muchos casos fue la sustitución, la adopción de un material en reemplazo por otro, de las mismas o superiores cualidades y de un precio igual o inferior.

Por ello es que postular el próximo agotamiento del petróleo, seguido por su reemplazo por el litio, y la subsiguiente catástrofe ambiental y política que Tahil auguraba para este metal, era ciertamente un escenario digno de predicadores.

He elegido reproducir algunas de las últimas citas de Tahil porque añaden color y entretenimiento a los lectores. Pero la verdad es que parece innecesario responderlas todas. Desde luego la noción que Argentina, Bolivia y Chile cooperen para establecer el cartel del litio parece fantástico para alguien que conozca un poco tan sólo de la historia política y económica de estos tres países.

Tahil llegó a aceptar que los 78 millones de computadores portátiles y los 1.114 millones de teléfonos celulares fabricados en 2007 pudiesen ser energizados por baterías de litio, pero no pudo aceptar cómo el litio podría impulsar los 60 millones de automóviles fabricados ese mismo año, o los cerca de mil millones de automóviles en circulación en el planeta. ¿Para evitarlo urdió en su mente esta conflagración del cono sur de América en contra de los Estados Unidos?

El enamoramiento y la aversión son ambos sentimientos legítimos, pero desgraciadamente para él, el inexorable mercado privilegió el primero e ignoró el segundo. En esta era de la información el mercado está estimulado principalmente por el enamoramiento de ideas, señales, símbolos, y bienes, que circulan por el mundo a través de muchas vías.

La idea de aprovechar un metal blanco, el más liviano y poderoso intrínsecamente, además de inocuo para la naturaleza, ha seducido a la humanidad, porque esta parece comprender cualidades energéticas tanto o más impresionantes que el petróleo, sustancia que ha dominado el desarrollo global desde la revolución industrial. Es paradójal que el litio sea a la vez el elemento de la tabla periódica que mejor puede cumplir con la función de impulsar un vehículo de transporte en forma limpia, y un elemento clave para desencadenar la reacción de fusión nuclear, la que, controladamente, podría generar toda la energía del planeta, también en forma limpia. Es casi demasiado bueno para ser cierto.

## **14- La fusión nuclear**

La fusión nuclear es un proceso que ocurre en el sol en que varios isótopos<sup>70</sup> livianos se fusionan para crear átomos más pesados, generando una energía inmensa, predicha por la famosa fórmula de Einstein  $E = mc^2$ . Esta fórmula permitió a los científicos explicar los procesos de fusión nuclear que ocurren en el sol y en otras estrellas. Según Wikipedia el sol genera por cada segundo 760 mil veces la energía utilizada en la tierra.

Los dos isótopos que se consideran para los proyectos de fusión nuclear son el deuterio y el tritio<sup>71</sup>. Mientras el primero puede ser extraído del agua y es abundante<sup>72</sup>, el tritio es muy escaso y

---

<sup>70</sup> Los isótopos, de acuerdo a Wikipedia, son "átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones, y por lo tanto, difieren en masa". Los isótopos emiten radiación, la que puede ser de diferentes tipos.

<sup>71</sup> Ambos son isótopos del hidrógeno.

<sup>72</sup> Hay 33 gramos de deuterio por cada metro cúbico de agua.



debe ser “fabricado” artificialmente. El tritio tiene una vida media<sup>73</sup> de aproximadamente 12,3 años, lo que explica su escasez en la naturaleza y el tiempo requerido para dismantelar un reactor.

El uso del litio en reactores de fusión es conocido y proyectado desde al menos la década de los 70 (Bogart 1976) . El litio es irradiado con neutrones en un plasma<sup>74</sup>, generando tritio más un isótopo de helio. El plasma en los reactores Tokamac<sup>75</sup>, opera a temperaturas superiores a los 150 millones de grados centígrados. La forma más eficiente de lograr la generación de tritio es que el litio irradiado sea una combinación de una alta proporción del isótopo litio 6 y una pequeña fracción de litio 7 (estado natural no radiactivo del litio). El litio es, hasta ahora, el elemento más eficiente que se ha encontrado para la generación de tritio en reactores de fusión nuclear. Pero hay alternativas, siendo el Berilio una de ellas (Fasel 2005).

De acuerdo a un informe de la CCHEN, del físico M. Zambra (2008), el International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER, ubicado en el sur de Francia, tenía el objetivo de “demostrar científica y tecnológicamente la viabilidad de energía por fusión nuclear en un plasma de deuterio y tritio”. El reactor fue diseñado en 1988, estará construido en 2016 con una potencia puramente demostrativa de 500 MW<sup>76</sup>, tendría una vida útil de 21 años y un costo de 13 billones de euros. El dismantelamiento involucrará 3 fases, la primera de 5 años de desactivación, una segunda de decaimiento radiactivo que duraría varias décadas, y, por último, una fase de 6 años de dismantelamiento final.

De acuerdo a Zambra (2008), con posterioridad al proyecto ITER hay dos proyectos en carpeta, el DEMO y el PROTO. El primero podría comenzar a construirse antes que se haya terminado el proyecto ITER y ello dependerá de los resultados obtenidos en este. El reactor DEMO tendría una potencia cuatro veces la de ITER y su objetivo sería generar energía. El reactor DEMO podría “tener la capacidad de producción neta de electricidad ...(). para el año 2050”, según Zambra. Por su parte el reactor PROTO tendría una potencia de 1,5 Giga Watts (GW), se comenzaría a construir en la década de 2050, para estar listo en el mismo período. Zambra (2008) concluye que “la producción a gran escala a partir de reactores de fusión nuclear estaría consolidada al año 2100”.

Zambra continuaba “los pronósticos de uso y consumo de litio para los reactores de fusión, sería necesario entre 6,3 y 8,9 toneladas anuales de litio para generar 1,5 GW durante ocho mil horas<sup>77</sup>”. La construcción de un reactor de 1,5 GW requeriría litio adicional para la camisa bombardeada por neutrones. Había dos diseños para dicha camisa, de acuerdo a Fasel (2005), ambas involucrando otros elementos asociados al litio. El diseño con menor uso de litio, en base a óxidos y silicatos de litio, requería 174 toneladas de metal, mientras el segundo diseño, en base a enfriamiento con agua, requería 787 toneladas. Fasel hizo estimaciones de la duración de las

---

<sup>73</sup> Según Wikipedia, la vida media es “el tiempo que transcurre hasta que la cantidad de núcleos radiactivos de un isótopo radiactivo se reduzca a la mitad de la cantidad inicial”.

<sup>74</sup> De acuerdo a Wikipedia, un plasma es “el cuarto estado de agregación de la materia, un estado fluido similar al estado gaseoso pero en el que determinada proporción de sus partículas están cargadas eléctricamente y no poseen equilibrio electromagnético, por lo que es un buen conductor eléctrico y sus partículas responden fuertemente a las interacciones electromagnéticas de largo alcance”.

<sup>75</sup> Reactor toroidal o de cilindro anular.

<sup>76</sup> Mega Watts.

<sup>77</sup> Un año tiene 8760 horas.

reservas y recursos de litio, consideradas en 17 millones de toneladas<sup>78</sup>, de 600 años sólo para la fusión nuclear, sin considerar reciclaje de litio en el reactor.

## **15- El debate en Chile**

El debate sobre el litio en Chile se inicia en 2007 con un extenso proyecto presentado por el senador Alejandro Navarro<sup>79</sup> que declara inconcesibles e insusceptibles de contratos especiales de operación (CEO) a las sustancias radioactivas o con las cuales es posible generar energía nuclear. Entre ellas está el litio. Este proyecto que modificaba la Constitución y el Código de Minería, impidiendo la aplicación de CEO no fue votado en el Senado pero dio pábulo para comenzar el debate. El proyecto proponía también que el Estado tenía derecho, en primera opción, a comprar el litio o productos radioactivos de parte de empresas que lo produjeran como subproducto, pagando los costos de separación. En el caso del litio ello se aplicaría a empresas que produjeran, por ejemplo, sales potásicas y ácido bórico a partir de salmueras, y que simultáneamente extrajeran sales de litio.

Es aparente que el interés del senador Navarro excedía al litio, extendiéndose a los materiales radiactivos. ¿Cuál fue la motivación de introducir dichos cambios entonces, después de 17 años de gobierno de la Concertación?.

El 30 de septiembre 2009 en la hora de incidentes de la sesión ordinaria del Senado, el senador Ricardo Núñez indicó que la demanda de litio había crecido 7 a 8% en los últimos 10 años, la que había llevado a que su precio aumentara desde 1.760 a 6.000 US\$ por tonelada<sup>80</sup>. Solicitó que el Senado oficiara al Ministerio de Minería para que este informara sobre las concesiones administrativas y contratos especiales de operación que hubiese otorgado dicho ministerio o la CCHEN, para la exploración, explotación o beneficio del litio.

El 1 de diciembre de 2009 los senadores Ricardo Núñez, Camilo Escalona y Juan Pablo Letelier presentaban un segundo proyecto de reforma constitucional<sup>81</sup> que afectaba a los materiales radiactivos y al litio. Sobre este último indicaba que “a la luz de las normas expuestas es evidente que el litio sólo tiene el carácter de sustancia no concesible, en virtud de la ley orgánica constitucional de concesiones mineras y el Código de Minería, más no de la Constitución Política de la República.” Más adelante afirmaba que “el carácter estratégico del litio sólo se encuentra indirectamente amparado en la legislación orgánico-constitucional y más particularmente en el ya referido decreto de ley<sup>82</sup>”, por lo que “bastaría una reforma a la ley orgánica constitucional respectiva para que el litio perdiera su condición de sustancia no concesible y que por tanto, pudiera estar afecta al régimen normal de concesiones mineras que establece la propia Constitución”.

Este es el primer debate de alguna profundidad sobre el litio que se había llevado a cabo en el país desde que dicho metal fuera descubierto accidentalmente cuando Anaconda Copper Company

---

<sup>78</sup> Evans 2012 estimó reservas y recursos globales de litio de 39,8 millones de toneladas.

<sup>79</sup> El 19 de diciembre 2007, Boletín 5655-08.

<sup>80</sup> Esta afirmación posiblemente se refería al precio nominal, ya que el precio real no había aumentado, tal como se observa en la Figura 5.

<sup>81</sup> Boletín del Senado 6781-07 del 1 de diciembre 2009.

<sup>82</sup> Decreto ley N° 2.886 de 14 de noviembre de 1979.

buscaba agua en el Salar de Atacama en 1962. El artículo 6 del DL 2.886 de octubre 1978, elaborado y promulgado por la Junta Militar, es el que mayor referencia hacía, hasta entonces, a la importancia del litio en Chile, y era bastante escueto en la definición. “Por exigirle el interés nacional, los materiales atómicos naturales y el litio”. No se discutió, hasta el presente, su importancia estratégica, ni se definió que significaba para el país un recurso “estratégico”.

### **15.1- ¿Qué es un material estratégico?**

Para los Estados Unidos el significado de material estratégico es claro. El Presidente del Instituto para el Análisis de la Seguridad Global (IAGS), Gal Luft, de dicho país, afirmó en 2010 que la definición de un material estratégico<sup>83</sup>, para los Estados Unidos, era, primero, un material necesario para abastecer a los militares y las necesidades esenciales de la población civil durante una emergencia nacional. Y, segundo, materiales que no eran encontrados o producidos en los Estados Unidos en cantidades suficientes para satisfacer la necesidad indicada. Otra manera de expresar estas definiciones es asignar los materiales estratégicos cuando ellos son esenciales para los sistemas de defensa, o cuando cumplen una función única, sin alternativas viables.

Gal Luft mostró en su presentación otro criterio para asignar la calidad de estratégico a un material. Esta depende de dos condiciones, las que se deben dar simultáneamente. Primero la criticidad de su aplicación (si hay sustitutos viables en el corto plazo), y segundo la vulnerabilidad de la oferta.

Esto último lleva, inmediatamente, a descartar una política multinacional que promueva el triangulo del litio (Clarín 2011) para controlar la oferta y o el precio, ya que la abundancia del litio a nivel global significaría que los Estados Unidos y otros países como Japón, Alemania y China, todos fuertemente involucrados en el desarrollo de tecnologías de baterías de litio para automóviles y otras aplicaciones, desarrollarían fuentes alternativas de explotación del litio, aunque fueran más caras en el corto plazo.

Desde la perspectiva de un país como Chile, la definición de material o recurso estratégico no coincide con la de los Estados Unidos. Si Chile definiera materiales y recursos estratégicos, estos deberían tener un fuerte peso en la generación del producto interno bruto en la actualidad, y, posiblemente, en las exportaciones nacionales. En definitiva, el pequeño tamaño del mercado chileno lleva a pensar que en el corto y mediano plazo, hasta que Chile sea plenamente desarrollado, una buena parte de los ingresos del Fisco, de los excedentes de las empresas, y de los empleos, provendrán de las industrias de exportaciones. Dichos ingresos, excedentes, y empleos, son claves para asegurar que los chilenos tendrán acceso a los materiales y bienes que necesitan, petróleo y otros combustibles, bienes de consumo, y alimentos, a partir del mercado local o de las importaciones.

Los principales candidatos a constituirse en materiales estratégicos, de acuerdo a esta definición, serían el cobre, el molibdeno, el oro, la celulosa, y la fruta. Y tal vez otros recursos. Pero en ningún caso el litio, el que constituye sólo un 0,3 a 0,4% de las exportaciones del país, y que no tiene

---

<sup>83</sup> Dr. Gal Luft, presentation, “How Strategic is Lithium?”, Technology and Rare Earth Metals Center, International Lithium Alliance, Institute for the Analysis of Global Security, Seminario El Litio y la Economía Nacional, organizado por Sonami, 5 agosto 2010, Santiago, Chile.

posibilidades en las próximas décadas de llegar a constituirse en una fracción importante del PIB y de las exportaciones.

Algunos líderes de opinión han argumentado que el litio sería estratégico para Chile porque tiene mucha importancia tecnológica en el almacenamiento de energía y en otras aplicaciones, y porque podría sustituir al petróleo. Cualquiera de estas dos afirmaciones requeriría un fuerte compromiso del Estado en invertir recursos de investigación e innovación para desarrollar capacidad científica y profesional nacional, que no han ocurrido desde 1984, por lo que supondré que tampoco se darán en el futuro. Chile abandonó el modelo de apoyar la investigación estatal en 1987 cuando Hernán Buchi era Ministro de Hacienda, ya que determinó que el Estado terminaría de financiar a los institutos de investigación, específicamente el CIMM, INTEC y otros.

Ahora, ¿Qué deberes tiene el Estado cuando define un material estratégico? Es obvio que si se usa la definición anteriormente propuesta, el Estado debería asegurar al menos los siguientes aspectos con respecto a cada uno de los materiales estratégicos: organismos estatales que conozcan a fondo los diversos mercados a nivel global, incluida la cadena de valor completa, y las oportunidades y amenazas para el país; libre acceso a los mercados, asegurando que no se levanten barreras para impedir dicho acceso, por ejemplo, declarando que uno de los materiales es tóxico; conocimiento a fondo de las propiedades de estos materiales, especialmente respecto a sus efectos en la salud humana y en el medio ambiente; conocimiento temprano de posibles sustitutos y su viabilidad técnica y comercial; fomento de la competitividad de estas industrias a nivel nacional, incluido el desarrollo de la investigación y de la innovación para asegurar que el país esté en la punta tecnológica global en el conocimiento y tecnologías de estos recursos y materiales.

Cualquiera puede apreciar que el Estado cumple sólo una pequeña parte de estas tareas en la actualidad con respecto a los materiales que podrían ser estratégicos. Incluso la Comisión de Energía Nuclear dejó de investigar en litio durante los 90.

## **15.2- Informe Estratégico sobre el Litio de Cochilco**

En diciembre 2009 la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco 2009) publicó un informe titulado “Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: litio”. Ello ocurrió al final del período de la Presidenta Bachelet, cuando ya había un presidente electo. El título del documento de la Cochilco, sugería conclusiones de interés para el país. El documento sería usado profusamente con posterioridad, por lo que es importante analizar aspectos de su contenido.

Este informe consideraba el precio histórico del carbonato de litio en términos nominales induciendo al error que las tres empresas que controlaban el mercado, FMC, Chemetall, y SQM, elevaron el precio en cerca de 250% desde 2004 a 2008. Este hecho fue citado por diversos líderes de opinión, incluyendo el proyecto de reforma constitucional patrocinado por la senadora Isabel Allende, Camilo Escalona, Juan Pablo Letelier, Pedro Muñoz Aburto y Fulvio Rossi<sup>84</sup>. El ex Diputado Antonio Leal<sup>85</sup> utilizó el informe de Cochilco 2009 para arribar a la conclusión que “Por ello y por el combate que en el mundo se da contra el dióxido de carbono y el exceso de utilización de los combustibles fósiles, la demanda mundial de litio aumenta entre un 7 y un 8% anual y su precio

---

<sup>84</sup> Boletín Nº 8.299-08 del Senado de Chile, julio, 2012.

<sup>85</sup> El Mostrador , 18 de junio 2012.

internacional ha pasado de mil 700 dólares la tonelada a 6 mil dólares en pocos años y este precio seguirá incrementándose acorde con la mayor demanda en el mercado mundial”. Como se aprecia en la Figura 5, el precio en dólares constantes no aumentó en los últimos 48 años, a pesar del fuerte aumento de la demanda. Ello fue discutido en la sección sobre el precio.

El aumento de demanda llevaría a un aumento en el precio sólo si había restricciones en la oferta, lo que en el caso de la industria del litio no podría ocurrir, al menos en el mediano plazo, porque en 2012 la sobrecapacidad de producción de litio de mina era superior al 40% de la demanda.

Por otra parte el informe de Cochilco 2009 asignó credibilidad a las estimaciones de Tahil sobre reservas y recursos, las que habían sido desacreditadas por Evans. Ello dio pie para concluir, en dicho informe, que “No hay consenso en cuanto a si las actuales reservas de litio puedan satisfacer o no la demanda futura”. La verdad es que no había ninguna duda entre los expertos mundiales en litio que Evans tenía la razón y que las ideas de Tahil eran no sólo equivocadas, sino cargadas de juicios injustificados, como ya se discutió.

Tal como se analizó en la Figura 1, las estimaciones más recientes sobre reservas y recursos de litio global se situaban entre 18 y 57 millones de toneladas de litio metálico equivalente. Las estimaciones de altos ejecutivos de Chemetall/Rockwood y de SQM estaban en el rango superior de dichas cifras. Pero incluso si se toma el promedio, estimado por Evans (2009), con el consumo actual, de cerca de 30 mil toneladas de litio metálico equivalente por año, los recursos y reservas alcanzarían para mil años.

Considerando un escenario optimista de 7% de crecimiento del consumo en los próximos 10 años y cifras también altas en las décadas siguientes, Daniela Desormeaux de SignumBox, estimó que las reservas y recursos alcanzarían para más de 300 años.

El informe de Cochilco de diciembre 2009 confirmó las afirmaciones del senador Núñez realizadas poco antes en el Senado y sirvió de base para los argumentos esgrimidos por muchos líderes de opinión con posterioridad. Es normal que así sea, por cuanto la Comisión Chilena del Cobre es una institución seria y respetada en Chile. Ello no significa, sin embargo, que todas sus afirmaciones estén bien fundadas, como creo que se ha establecido en este trabajo.

### **15.3- Acontecimientos desde diciembre 2009**

A fines de 2009 se creó una “Mesa del Litio” destinada a clarificar el futuro del litio en el país. La revista Minería Chilena reportó el 15 de enero 2010 que esta mesa realizó su primera salida a terreno a visitar las instalaciones de SQM en el Salar de Atacama. La visita había ocurrido antes de la elección presidencial de octubre 2009. La mesa estaba presidida por el Ministro de Minería y estaba formada por representantes de Sernageomin, Cochilco, el CIMM, y la CCHEN. Uno de los objetivos de la “mesa” era crear un Instituto del Litio que le diera valor agregado al metal.

El Ministro de Minería Santiago González declaraba<sup>86</sup> que el objetivo era que “no sólo seamos exportadores en materias primas, sino que también podamos aportar con investigación y desarrollo de tecnología para mejorar el elemento a explotar”.

---

<sup>86</sup> 18 de enero 2010, sustentable.cl, El Portal del Medio Ambiente.

El 22 de diciembre de 2009 la Revista Minería reportaba una entrevista a un alto ejecutivo de Codelco que habría dicho “El próximo año esperamos hacer un estudio que nos permita cuantificar nuestras reservas de litio”. Se indicaba en esta publicación que estaba en discusión en el Congreso un “proyecto de reforma constitucional que buscaba entregar exclusivamente al Estado y a empresas bajo su mandato la exploración y explotación de materiales atómicos naturales y de litio”, lo que se refería al proyecto del senador Núñez ya mencionado.

El Mercurio editorializaba el 4 de febrero 2010. “En 1982 se publicó la Ley Nº 18.097, sobre concesiones mineras, que con un anacrónico criterio que venía de épocas anteriores transformó al litio en un material cuya explotación no es concesible, pensando en que por sus posibles potencialidades futuras en la industria de la fusión nuclear - aunque ello se halle muy distante en el futuro- debía ser mantenido en manos del Estado.” Más adelante afirmaba: “Las restricciones así vigentes comienzan a transformarse rápidamente en obstáculos importantes para la producción nacional, tanto para quienes ya tienen permisos productivos como para otras compañías que quisieran hacerlo.” “A estas alturas del conocimiento socioeconómico, no tiene asidero que su producción la desarrolle una compañía estatal. Mantener a los metales fuera del alcance de la inversión privada deriva de una idea ya obsoleta de la creación de riqueza e ignora el concepto de valor presente. Quienes aún opinan así prefieren que el Estado decida cuánto y cuándo debe producirse, pero es hoy evidente que las burocracias funcionarias que en tal caso toman las decisiones no tienen realmente un mejor conocimiento que el resto de los agentes económicos respecto de las oportunidades óptimas para hacerlo. Esa mirada también lleva a postergar su extracción, en la esperanza de que el posible mayor precio futuro del metal resulte beneficioso para el país, y de que la explotación estatal y no privada de aquel traspase esa riqueza a la población”.

El mismo día La Tercera editorializaba también sobre el litio, indicando la conveniencia de levantar las restricciones a la explotación de litio. Decía “Hay evidencia histórica de que los países han errado cuando pretenden determinar el momento oportuno para explotar los recursos, sacrificando el bienestar de la sociedad al limitar o postergar su explotación”.

Numerosas cartas se sucedieron en ambos periódicos en los días siguientes, dando opiniones sobre el litio.

El 3 de mayo 2010 nueve diputados presentaron un proyecto de reforma constitucional<sup>87</sup> que se refería al litio de la siguiente manera: “Una correcta interpretación de la norma constitucional y de la ley orgánica, permiten afirmar con propiedad que aun tratándose de sustancias minerales el litio es inconcesible por expresa voluntad del Estado, y que además pertenece al mismo, de manera exclusiva y excluyente, y que dicho régimen jurídico puede aparecer como suficiente protección del interés nacional en un recurso natural declarado en su oportunidad como estratégico para la seguridad del país. Así lo entendió el constituyente y el legislador, y por ello marginó a los privados del derecho de sustituir al Estado en la explotación o exploración de estos recursos naturales, por el mecanismo general de concesión minera, negándole el derecho de constituir alguna especie de propiedad minera. Por de pronto, hacemos presente que sigue teniendo el carácter de estratégico, hoy no para la Defensa Nacional, sino que para constituirse en un nuevo soporte del desarrollo nacional, y en tal entendido es imprescindible generar los consensos que sean necesarios respecto de lo que puede llegar a ser la fuente de energía de

---

<sup>87</sup> Boletín 8247-07 del 3 de mayo 2010.

mayor demanda hacia fines del siglo”.

Este proyecto llamaba a un debate y proponía modificar el artículo 19, Nº 24 de la Constitución especificando que “Tratándose del litio, el Presidente de la República requerirá autorización del Congreso Nacional para suscribir dichos contratos especiales de operación”.

El 18 del mismo mes un grupo de cuatro Diputados<sup>88</sup> proponían declarar concesible el litio, eliminando la referencia al litio de la Ley 18.097 sobre concesiones minerales en su artículo 3º inciso 4º; del Código de Minería en su artículo 7º. Del Decreto 1886 artículo 5, y de la Ley 18.302 que crea la CCHEN, que establece en su artículo 8º que el litio no podrá ser objeto de ninguna clase de actos jurídicos. Es decir, se proponía ampliar el acceso al litio a las empresas privadas, al igual que en los otros minerales chilenos, exceptuando los nucleares.

El 28 de julio 2010 en la sesión ordinaria del Senado, el senador Juan Pablo Letelier solicitó oficiar a Corfo para que proporcionara: un catastro de sus pertenencias de litio y copia de los contratos de arrendamiento, la autorización para los referidos contratos, por qué dicha Corporación se inhibió de explotar para sí el resto de las pertenencias de litio, cuantía y procedencia de los aportes realizados a la CCHEN para financiar investigación en litio, y aporte de las empresas arrendatarias (SQM y SCL) destinados a su investigación y desarrollo. Finalmente solicitó que se le hicieran llegar las actas de la comisión Merino donde se discutió el Código de Minería y se fundamentó el carácter estratégico del litio. Los senadores Carlos Cantero y Alejandro Navarro adhirieron a esta solicitud.

En 2010 se realizaron dos seminarios sobre el litio, uno organizado por la Sociedad Nacional de Minería (Sonami) el 5 de agosto<sup>89</sup>, y un segundo evento<sup>90</sup> organizado el 10 y 11 de noviembre por la Comisión Económica para América Latina de Naciones Unidas, Cepal. En el primer evento expuso el senador Juan Pablo Letelier.

En noviembre 2011 la Universidad Católica de Chile realizó un tercer seminario sobre el litio en que expusieron numerosos expertos, incluyendo una presentación del presidente de la Comisión de Energía y Minería del Senado, senador Carlos Cantero.

Es imposible resumir el contenido de estos seminarios, sin embargo, a riesgo de dejar fuera varios conceptos, me atrevo a afirmar que la posición de las empresas y de la industria de litio fue señalar que las reservas y recursos de litio conocidos eran abundantes y que no había una preocupación porque el litio fuese a ser escaso, confirmando la posición del geólogo Evans. Tal como ya se indicó, las estimaciones de recursos de las dos empresas que producen litio en Chile estaban en el rango superior mostrado en la Figura 1, cerca de 60 millones de toneladas de litio metálico equivalente.

Los argumentos opuestos corrieron por parte del senador Letelier en el seminario de Sonami, en donde reiteró los argumentos que ya se mencionaron referidos a los proyectos de reformas presentados por diversos senadores y diputados, además de la solicitud de información realizada en una sesión ordinaria del Senado.

---

<sup>88</sup> Boletín 6940-08 del 18 de mayo 2010.

<sup>89</sup> Titulado “El litio en la economía nacional”.

<sup>90</sup> Titulado “El desarrollo sostenible del litio en América Latina, asuntos emergentes y oportunidades”.

En referencia al seminario de la Universidad Católica de 2011, la Revista Minería Chilena del 18 de noviembre resumió de la siguiente forma el debate: “la demanda por el litio, utilizado especialmente en la fabricación de baterías automotrices y tecnológicas, se duplicaría en los próximos 10 años y el actual sistema de concesiones no facilita su producción. Se advirtió que aunque presenta ventajas en costos de producción por su abundancia en los salares, Chile podría perder su liderazgo en el rubro dado que Argentina y Canadá, entre otros países, muestran un activo desarrollo de este metal”.

La Comisión de Minería y Energía del Senado realizó dos sesiones durante enero 2012 analizando la situación de la industria del litio global y chilena. En estas se observó profundas diferencias en las opiniones de los diversos senadores<sup>91</sup>.

El 31 de enero 2012 La Tercera publicó una columna de opinión de Gustavo Lagos<sup>92</sup> en que este afirmaba que “Chile tiene las mejores reservas de litio del mundo en el Salar de Atacama y en otros salares, y en 1998 desplazó a Estados Unidos como primer productor. A pesar del aumento de la producción desde entonces, en 2012 será alcanzado o sobrepasado en producción por Australia, y tal vez por Argentina más adelante. Ello se debe a una legislación obsoleta que declara al litio como “estratégico” y que ha obstaculizado el desarrollo de varios salares y del mismo Salar de Atacama”.

Más adelante agregaba “Una alternativa es entregar la explotación a empresas del Estado, pero no hay empresas fiscales que tengan tecnología para explotar este metal, hay muy pocos especialistas en Chile, y el Estado abandonó su interés por el litio hace tiempo. En 1988 cerró el Comité de Sales Mixtas de Corfo, nadie sabe qué pasó con los recursos para investigación que fueron asignados al metal, y Conicyt rechazó en los 80 y 90 los tres grandes proyectos para desarrollar tecnologías de baterías y de producción”.

#### **15.4- Licitación de CEOL**

El 7 de febrero 2012 el Subsecretario de Minería Pablo Wagner anunció que el gobierno realizaría una licitación internacional de un Contrato Especial de Operación del Litio (CEOL) que “permitiría explotar el mineral en aquellos lugares en que hoy está prohibido”<sup>93</sup>. “Los CEOL comprenden la opción de extraer litio por el equivalente a 100 mil toneladas por 20 años, contados desde el momento de la suscripción del contrato. El carácter estratégico del mineral sólo permite que dos empresas, SQM y SCL, puedan explotar el recursos en el país. No obstante Chile es el principal productor de litio, controlando el 41% del mercado a nivel global”. “Quien se adjudique la licitación determinará cómo, cuando y en que lugar se realizará esta”. Ello podría ser en diversos salares. Agregaba “La licitación será entregada al participante que ofrezca un mayor monto por el CEOL”. Wagner estimaba que el gobierno recaudaría 350 millones de US\$ por cada proyecto adjudicado durante el período de operación del contrato. Ello incluía un royalty de 7% sobre las ventas de productos de litio.

Entre los interesados estarían Li3 Energy, Minera Copiapó, la australiana-canadiense Talison

---

<sup>91</sup> Observaciones de Gustavo Lagos quien participó en las sesiones del 4 y del 11 de enero de dicha Comisión.

<sup>92</sup> Profesor de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

<sup>93</sup> La Tercera, 8 febrero 2012.



Lithium Limited, la estadounidense Pan American Lithium Corp y la taiwanesa Simbalik<sup>94</sup>.

El 14 de febrero el Director Ejecutivo de Cesco, Juan Carlos Guajardo opinaba<sup>95</sup> “El gobierno ha decidido impulsar los Contratos Especiales de Operación del Litio (CEOL) para aumentar la producción nacional de este metal, restringida hasta ahora por su condición de mineral estratégico, y por ende, no sujeto de concesiones, como sí ocurre con la inmensa mayoría de la minería nacional. Al optar por esta vía administrativa, y no por la modificación de su estatus estratégico a través de la tramitación de una ley, se busca incrementar con rapidez la producción, dada la acelerada competencia desde otros países. Esta deseable premura no debe, sin embargo, anular la necesaria búsqueda de un amplio apoyo que otorgue bases estables para el desarrollo de la industria del litio en Chile. La minería es una actividad de largo plazo, por lo que la legitimidad política resulta imprescindible”.

Guajardo agregaba “resulta necesario abordar aspectos como el del Salar de Atacama, donde dos compañías han venido explotando recursos de litio gracias a contratos directos con Corfo. Este Salar da cuenta del 80% de las reservas nacionales, por lo que siendo valorables los CEOL para generar mayor competencia y opciones, éstos sólo se harán cargo del 20%de las reservas nacionales. Es tal la calidad y cantidad del recurso minero en este Salar, que sería impensable plantear una política general a través de los CEOL, sin considerar el impacto de la situación del Salar de Atacama. Es por tanto deseable que Corfo, a través de los contratos tanto con SQM como con SCL, asegure que la renta obtenida es consistente con los niveles que se alcanzarán con los CEOL, y que estos actores hoy dominantes, seguirán participando del mercado del litio, pero sin afectar la capacidad de competencia de los nuevos actores que se pretende atraer”. “Un segundo aspecto es plantearse seriamente la posibilidad de desarrollar tecnológicamente a esta industria. No se trata de aspirar a competir hoy en la sofisticada manufactura de baterías de litio, pero sí de establecer dentro de las bases de los CEOL, mecanismos que permitan que las grandes corporaciones interesadas en el recurso aporten tecnología que permita, inicialmente, la producción de productos distintos del carbonato de litio, que es una de las formas más básicas en la cadena de valor de esta industria. Por último, será necesario reforzar las evaluaciones medio ambientales en la explotación minera en los salares, con el fin de asegurar el equilibrio en estas especiales masas geológicas. La situación actual del litio en Chile está lejos de ser positiva”.

A raíz del anuncio sobre los CEOL el 23 de febrero del mismo año la Confederación de Trabajadores del Cobre invitó a generar una instancia que defendiera la explotación de litio por parte de empresas estatales chilenas.

El 24 de marzo el ex Presidente Ricardo Lagos participó en un foro organizado por la Federación de Trabajadores del Cobre, FTC. Ahí propuso formar una mesa de trabajo para debatir sobre el litio<sup>96</sup>. “Poniendo énfasis en la historia minera de nuestro país, el ex mandatario recalzó que en su momento, cuando se discutió sobre el royalty, lo que se planteó fue que "para no repetir la historia, si vamos a tener recursos fiscales provenientes de un recurso natural, nuestra obligación es que esos ingresos se destinen a una inversión que no sea financiar gastos corrientes. Por lo tanto lo que de ahí se extrae, tiene que invertirse para que sea el capital para el futuro, eso es lo que nos enseña la historia". “Lagos indicó además, que el centro del tema está en que si bien es

---

<sup>94</sup> Diario Financiero, 8 febrero 2012.

<sup>95</sup> La Tercera, 14 de febrero 2012.

<sup>96</sup> [http://economia.terra.cl/noticias/noticia.aspx?idNoticia=201203241100\\_TRR\\_81019646](http://economia.terra.cl/noticias/noticia.aspx?idNoticia=201203241100_TRR_81019646)

efectivo que el Estado tiene la facultad de hacer un contrato especial de operación, las dudas están en torno a las características que van a tener esos contratos. En este sentido hizo varias preguntas, como si es que "¿el gobierno tiene una opinión formada o es parte del debate que podemos tener? ¿Cuáles van a ser las consecuencias de modificaciones tributarias que están por venir? ¿Podemos tener un debate en torno al royalty que es actualmente de un 7 %?".

Agregaba "Por eso cree que sería importante establecer una mesa de trabajo, en la que participen integrantes del Parlamento y expertos en el tema, para debatir no sólo sobre quiénes podrán ser parte de este mercado, o los impuestos que se podrían aplicar, sino también sobre las emisiones de carbono que se van a generar". "Sería profundamente negativo que -este tema- se planteara con el grado de urgencia, que entiendo es para este año, y no pudiéramos debatir ¿Podemos darnos seis meses o un año para consensuar lo que son los temas económicos que están planteados en esta licitación? ¿Hay un mínimo respecto del costo que se va a poner sobre la mesa, o no hay mínimo? Este es un tema muy delicado", agregó el ex Mandatario".

El Subsecretario de Minería Pablo Wagner, quien también participó en dicho foro, agregaba "En cuanto a la demanda en el caso de las baterías de autos, en el mundo la producción en 2010 fue de 141 mil baterías y para 2015 se espera que llegue a 1 millón 700 mil. En China por ejemplo, existen mil empresas productoras de baterías de litio y por eso "para tomar este mercado en el pick, que sería en el 2020, hay que trabajar desde hoy, hay países que ya comenzarán a producir en el 2014", dijo el subsecretario. Junto con ello destacó que en nuestro país contamos con cinco salares que no pueden ser explotados, porque bajo el régimen de 1932 - cambiado en 1979 - ya fueron concesionados, por otra parte "hay más de 50 salares cerrados y cuencas que podrían ser explotadas con lo que se podría contar con recursos para los próximos 1.500 años", según la autoridad de Minería, quien indicó también respecto de los precios, que cuentan con un valor estable y en 2020 irán al alza. Hasta aquí la cita del portal de Terra.

El ex Presidente Lagos estaba preocupado de aspectos distintos que los senadores y diputados que habían propuesto proyectos de modificación de la Constitución en el Congreso y no propuso el tema de la explotación exclusiva del litio por parte del Estado.

En sesión del 11 de abril 2012 la Comisión de Energía y Minería del Senado debatió el litio. El senador Carlos Cantero, Presidente de dicha comisión, afirmó "que el carácter estratégico del litio es obsoleto y anacrónico, propio de la Guerra Fría, debido al uso nuclear del material<sup>97</sup>". "Soy partidario de imponer un sistema de explotación mixto, entre privados y el Estado, en el que necesariamente se le de valor agregado al mineral", dijo. También expresó su inquietud sobre la escasa investigación y desarrollo realizado en Chile sobre este material. "Consulté y no existe ningún proyecto Conicyt asociado a investigaciones sobre el litio, por lo que no hay investigación, y con sólo dos empresas explotándolo, tampoco hay una industria poderosa detrás de ella". Según el senador Cantero, además de discutir un modelo de explotación, se debe crear capital humano, y en este sentido, consideró necesario impulsar un Instituto Nacional del Litio, financiado por un royalty pagado por esta misma industria (sitio web BCN, 12-4-12).

El mismo sitio web cita a la senadora Isabel Allende en la misma sesión: "Estimó como grave que los parlamentarios "se hayan enterado por la prensa sobre la implementación de los CEOL" y agregó que "el debate sobre el litio no se debe hacer de espaldas a la ciudadanía ni al Congreso".

---

<sup>97</sup> [http://www.bcn.cl/carpeta\\_temas\\_profundidad/litio-el-commodity-del-futuro](http://www.bcn.cl/carpeta_temas_profundidad/litio-el-commodity-del-futuro).

Coincidiendo con el senador Cantero, la senadora resaltó la importancia de la creación y financiamiento de un Instituto Nacional del Litio, previendo el desarrollo de la industria automotriz con propulsión eléctrica o híbrida (sitio web BCN, 12-4-12).

Citando opiniones dadas por Cochilco, la senadora Allende estimó que es necesario discutir y planificar una política pública clara, y actualizar los datos y estudios respecto del mineral, al mismo tiempo que generar valor agregado, “para no repetir la historia del cobre, que no refinamos y vendemos en bruto” (sitio web BCN, 12-4-12).

Agregó la senadora que “el litio debe ser un material estratégico, y Codelco debiera tener la vanguardia en investigación y explotación del litio. Esto, tras una discusión pública e informada” (sitio web BCN, 12-4-12).

Una opinión distinta expresó el senador Jaime Orpis (UDI), quien se mostró a favor de la concesibilidad del mineral. Para el parlamentario, estamos entrando en la era del post petróleo, combustible fósil que alcanza para 38 años más, lo que hace que la electricidad sea la gran energía que moverá el futuro” (sitio web BCN, 12-4-12).

Para Orpis, dado que el 70% del petróleo es consumido por el transporte, habría en el corto plazo una masiva transformación del parque automotriz, “por lo que será fundamental tener cuanto antes nuevos proyectos funcionando, para dejar de perder terreno y pasar de ser principales productores a productores irrelevantes” (sitio web BCN, 12-4-12).

A este panorama, el senador agregó la crisis energética que vive Chile y el impulso de las Energías Renovables No Convencionales. En este sentido, expuso la fragilidad del Sistema Interconectado Central, “el que es endeble a las sobrecargas y fluctuaciones, problema que podría ser subsanado con baterías de litio de gran capacidad”. Para Orpis, sin la rápida implementación de los CEOL, Chile estaría quedando fuera de su posición de vanguardia en el negocio del litio por culpa de la inacción, que a la larga hará perder capacidad (sitio web BCN, 12-4-12).

Según un informe de la consultora GEM, Gestión y Economía Minera, responsables de las cifras manejadas por el Ministerio de Minería para los CEOL, “se espera que para el año 2015 lleguen a 1.732.000, esto es, 12 veces más”. La proyección de demanda realizada por GEM contemplaba un escenario esperado para el 2020 en que las baterías de los autos eléctricos capturarían el 25% de la demanda del litio. En cuanto a la industria automotriz, analizando las tendencias de los nuevos prototipos de autos híbridos y eléctricos con una base de datos de más de 100 nuevos modelos de autos eléctricos e híbridos, GEM estimaba que para 2020, estos capturarían alrededor del 12% de la oferta automotriz mundial (sitio web BCN, 12-4-12).

El 19 de mayo se publicó en el Diario Oficial el Decreto del Ministerio de Minería 16/2012 que “Establece requisitos y condiciones del Contrato Especial de Operación para la exploración, explotación y beneficio de yacimientos de litio, que el Estado de Chile suscribirá conforme a las bases de licitación pública nacional e internacional que se aprobarán para estos efectos”.

Como ya se indicó, los contratos serían por 20 años y con un máximo de litio extraíble de cien mil toneladas de metal. Su ejecución sería supervisada por un Comité de Coordinación formado por tres representantes de cada una de las partes. Uno de los representantes del Estado presidiría las reuniones del Comité. Se definía aquí los procedimientos para certificar la calidad de los productos de litio. El contratista podría vender el contrato no antes de tres años, con previa autorización del Ministro. El contratista debería entregar una vez por año toda la información que el Comité de

Coordinación le exija, con copia al Servicio Nacional de Geología y Minería. El Estado tendría derecho a usar todos los datos geológicos, geofísicos y similares pero esta información no podría ser traspasada a terceros sin la autorización del contratista. El Decreto también fijaba las causales para terminar el contrato.

El 9 de junio el gobierno llamó a la licitación de los CEOL, estableciendo el plazo límite para presentar propuestas el 12 de septiembre 2012.

El 19 de junio el senador Letelier se refería a los CEOL en el Congreso<sup>98</sup> afirmando que el mercado del litio no era un mercado competitivo sino que estaba concentrado en cuatro empresas y que los CEOL representaban la letra chica, un resquicio legal utilizado por el gobierno. Refiriéndose, posiblemente, a los años en que el litio fue adjudicado a las dos empresas que operan en el Salar de Atacama, indicó que “hace 20 años no se sabía los usos del litio, 20 años atrás no se conocía la importancia estratégica del litio, se pensaba que era sólo importante para la industria nuclear, hoy no es así, como lo ha indicado la senadora Allende”. Indicaba “esta política de venta de nuestros recursos naturales a través de contratos para extracción es para que otras industrias construyan los componentes que tengan el encadenamiento productivo, aquí lo que está en discusión es si vamos a tener política de desarrollo industrial en Chile o si es que se va a seguir exportando los recursos naturales en bruto para que otros le agreguen valor”. Más adelante afirmaba “Quienes participen en esta licitación tengan claro un punto, y que lo tengan muy claro las empresas que se van a presentar a esta licitación y a estos contratos, en Chile no hay consenso sobre el uso del litio, y por tanto, que se atengan a las consecuencias, en Chile no hay consenso sobre lo que se está haciendo, hay una opinión mayoritariamente de los chilenos en contra”.

El 20 de junio Codelco anunció que compraría las bases de licitación de los CEOL y que estudiaría la posibilidad de presentar una oferta para la explotación de litio en conjunto con un socio.

Ello produjo reacciones favorables por parte de diversos actores, por ejemplo los supervisores de Codelco, pero produjo suspicacia en otros, que pensaron que ello era una medida para apaciguar a quienes se oponían a los CEOL.

El 29 de junio Gustavo Lagos afirmó<sup>99</sup> que “Por primera vez, desde que la Sociedad Chilena del Litio, SCL, comenzó a explotar en 1984 este metal en Chile, hay una empresa del Estado que manifiesta interés en ello”. “El Estado tuvo muchas oportunidades de participar decisivamente en el desarrollo de la industria del litio chileno en los últimos 30 años, pero no las aprovechó”.

Agregaba “Codelco es la gran empresa del cobre del mundo, pero sabe poco de litio, y no tiene los profesionales para desarrollar un proyecto de explotación. Su objetivo principal es materializar una cartera gigante de proyectos que es clave para su supervivencia en cobre, y para ello debe lograr que el gobierno le devuelva anualmente unos US\$ 1.000 millones de sus propias utilidades durante los próximos cuatro años, con objeto de no endeudarse excesivamente. Además, está enfrentada a Anglo American por la propiedad de la ex Disputada de Las Condes”. “No es realista pensar que Codelco se transforme en líder del litio. Podría, en cambio, participar en esta licitación con una empresa versada en litio, colocando pertenencias en el Salar de Maricunga como aporte de capital, sin endeudarse más, y como socio minoritario. Es deseable que un potencial socio no

---

<sup>98</sup> 19 de junio, <http://vimeo.com/44319068>.

<sup>99</sup> Columna en La Tercera, 29 de junio 2012.

sea uno de las cuatro grandes del litio a nivel global, para así hacer esta industria más transparente y competitiva”.

Finalmente afirmaba que “Las ofertas ganadoras, es decir, de mayor valor, serán, probablemente, las que tengan proyectos adelantados, con exploración y estudios de ingeniería avanzados, para comenzar a producir pronto, en 3 a 4 años. Chile es líder mundial en producción y en tecnologías extractivas del litio. Perderá lo primero este año o el próximo. Y si no aprovecha las oportunidades podría perder lo segundo. El desarrollo del litio en el país no pasa por la participación de Codelco, sino por el entendimiento por parte de todas las fuerzas políticas que avanzar ahora con un alto impuesto efectivo sobre las utilidades es mucho mejor que guardar el litio para más adelante, esperando oportunidades hipotéticas, como han sugerido algunos, y como han hecho otros países con magros resultados. Los chilenos necesitan el desarrollo ahora”.

Efectivamente, aquellos postulantes a la licitación que no tengan la exploración realizada y algún estudio de ingeniería terminado, aunque sea en la etapa conceptual, tardarían mucho en iniciar la producción, posiblemente cuatro años o más. Codelco no había concretado estos pasos. Mientras tanto, los únicos que tendrían posibilidades reales de aumentar la producción de Chile eran las dos empresas que ya explotaban el litio en el Salar de Atacama.

El sitio web del Senado publicó el 26 de julio 2012 “Con el fin de invalidar los actos administrativos que permitieron la licitación y la elaboración de las bases de los Contratos Especiales de Operación de Litio (CEOL), los senadores Isabel Allende, Ximena Rincón, José Antonio Gómez, Pedro Muñoz, y Jaime Quintana; junto con los dirigentes Raimundo Espinoza presidente de la Federación de Trabajadores del Cobre, y Pedro Fierro, presidente de la FENATRAPECH, Federación Nacional de Trabajadores del Petróleo de Chile presentaron ante el Séptimo Juzgado Civil de Santiago una acción de nulidad de derecho público<sup>100</sup>”. La misma fuente agregaba que “La presentación apunta a detener e invalidar el proceso de licitación del litio iniciado por el gobierno en febrero pasado por vía administrativa. La acción es patrocinada por el profesor de la Universidad Católica de Chile, Patricio Zapata”. Se informaba que la Senadora Allende, Presidenta de la Comisión de Energía y Minería del Senado “Detalló que se busca anular los siguientes actos administrativos del gobierno del Presidente Piñera: El DS 16 de 2012 del Ministerio de Minería que Establece requisitos y condiciones del contrato especial de operación para la exploración, explotación y beneficio de yacimientos de litio, que el Estado de Chile suscribirá conforme a las bases de licitación pública e internacional que se aprobarán para estos efectos”.

Se agregaba que “Además se cuenta la Resolución N°16 del 2012 del mismo ministerio que aprueba las mencionadas bases y adicionalmente, "solicitamos al juzgado competente la adopción de una medida cautelar de prohibición de actos y contratos para imposibilitar la adjudicación de la mencionada licitación, paralizando el proceso". La parlamentaria expresó que "consideramos que las mencionadas normas dictadas son nulas por haberse dictado contra el texto de la Constitución en lo referente al estatus que se le asigna al litio como sustancia no concesible o no susceptible de concesión. Con estas bases se trata de disfrazar mediante un contrato especial de operación una concesión encubierta del litio para todo el territorio de Chile" (del sitio web del Senado, 26-7-12)”.

Comentando esta demanda ante los tribunales, la Tercera editorializó el 12 de agosto afirmando que ella estaba basada en una “desviación del fin de ese acto administrativo” por no ajustarse a la

---

<sup>100</sup> [http://www.senado.cl/prontus\\_galeria\\_noticias/site/artic/20120726/pags/20120726131817.html](http://www.senado.cl/prontus_galeria_noticias/site/artic/20120726/pags/20120726131817.html)

normativa vigente. Defendía la editorial la constitucionalidad del acto jurídico del gobierno y agregaba que “lo que resulta más grave es que al interponer dicha demanda, los parlamentarios están obviando el procedimiento que la Carta Fundamental contempla para que impugnen la constitucionalidad de un decreto, que es lo que en el hecho están haciendo. Un requerimiento en tal sentido debe ser interpuesto ante el Tribunal Constitucional, dentro del plazo de 30 días de publicado el Decreto (ya vencido), y por un mínimo de una cuarta parte de los miembros de la Cámara respectiva (10 senadores), requisitos todos que no se cumplen en este caso. Los tribunales de justicia deberían evitar que se desnaturalice su función por esta vía, declarando su falta de jurisdicción para pronunciarse sobre la norma cuestionada”.

La senadora Allende respondió esta editorial el 16 de agosto, en una carta a La Tercera, argumentando que la acción judicial “responde a nuestra convicción en el sentido que los contratos de explotación de litio que está ofreciendo el gobierno van mucho más allá de lo permitido por el ordenamiento jurídico. Se equivoca, por lo demás, al plantear (se refería a la editorial de La Tercera) que el Tribunal Constitucional es la única vía para impugnar actos administrativos gubernativos. La verdad es que la nulidad de derecho público es un instrumento jurídico consolidado y legítimo”.

Agregaba la senadora Allende “Al actuar como lo hemos hecho, estamos ejerciendo un derecho y cumpliendo un deber. Ejerciendo el derecho de toda persona a pedir tutela judicial. Y el deber de todo chileno de defender aquellos recursos naturales que las leyes han reservado expresamente al Estado”.

Este trabajo se publicó cuando aún no se presentaban las propuestas para la licitación de CEOL. Por ello se da cuenta aquí de un debate inconcluso.

## **16- Comentarios finales**

Nunca hubo claridad de por qué se inició el debate sobre el litio. Un metal casi olvidado en Chile por tantos años, y, de repente, fue redescubierto. ¿Fue quizás porque era el único metal no radioactivo que tenía una restricción de nivel constitucional para ser explotado por privados? ¿Fue porque comenzaba a transformarse en realidad lo de las baterías de litio para aplicaciones importantes? ¿Fue tal vez porque, tal como afirmó Tahil, se “enamoraron” de este debido a sus atributos futurísticos, casi míticos? ¿Fue por los dichos, también de Tahil, sobre que el triángulo del litio era la nueva Arabia Saudita?

El redescubrimiento del litio en Chile resultaba más sorprendente porque la propuesta de sectores de la coalición “Concertación por la Democracia” era que lo explotara el Estado mediante sus empresas. Fue el primer gobierno de la Concertación, sin embargo, el que autorizó la venta de Amax a SQM en 1993, ampliando los permisos. Y fue la Corfo durante los gobiernos de la Concertación la que desconoció que el 0,8% del royalty cobrado a SQM debía ser destinado a investigación y desarrollo. Esta política fue continuada por el Gobierno del Presidente Piñera.

Además ¿Quién en el Estado lo podría desarrollar? ¿Y con qué capacidad profesional y tecnológica? Codelco está en lo suyo, que es muy importante para el país, sus negocios son mucho mayores y más rentables que lo que sería el litio. Han surgido voces que sea Enami. Pero esta empresa tiene un rol bien específico para el fomento de la pequeña y mediana minería, y este no cuadra en absoluto con el perfil del litio.

El litio no es comparable al petróleo<sup>101</sup> ya que el primero almacena energía, mientras que el segundo la genera. Por ello, el triangulo del litio no puede ser la nueva Arabia Saudita. El uso del litio en baterías avanzadas y en la fusión nuclear data más de medio siglo, y desde luego, se conocía perfectamente cuando se otorgaron los arrendamientos en el Salar de Atacama.

¿Se refieren entonces a la fusión nuclear? Porque ahí el litio sí pasa a ser un combustible clave. Pero todos los pronósticos hablan de 2100 como un año en que posiblemente habría tecnología para tener reactores comerciales de fusión. La incertidumbre es altísima. Pero incluso si hubiera certeza, ¿convendría ahorrar el litio para entonces? ¿No sería mejor producir litio ahora y ahorrar o invertir el dinero que este rinda para todos los chilenos? Esta última alternativa es ciertamente mucho menos riesgosa que la anterior – y estoy seguro que es mucho más rentable socialmente. Además, los chilenos quieren llegar al desarrollo pronto y no el próximo siglo.

Dada la pobre performance del Estado en el desarrollo de la industria del litio en las últimas dos décadas, no es creíble la explotación de este por parte del Estado. Por el mismo motivo tampoco es creíble que se concrete un Instituto del litio con fondos estatales.

Sin duda que es mejor un acuerdo nacional respecto al futuro del metal, pero el debate no fructificó hasta ahora porque las posiciones eran demasiado opuestas y muchos consideraron que era una pérdida de tiempo – en el que Chile sería ampliamente superado por otros países en producción. El ex Presidente Lagos abrió las puertas para un debate más flexible en marzo 2012. Pero otros líderes que también invitaron al debate plantearon posiciones de tal intransigencia que la invitación no era creíble.

Afortunadamente desde que se inició el debate en 2007 se han ido desmitificando numerosos aspectos del litio.

Quedó claro en el país que no habría una escasez de litio para el futuro, incluso en los escenarios con mayor demanda futura. Por otra parte pareciera estarse instaurando la idea que el precio del litio no aumentará explosivamente como varios líderes de opinión pronosticaron. Como se demostró el precio actual en moneda constante es menor que el precio de 1984. Lo más posible es que el precio del litio aumentaría en el futuro no debido a una mayor demanda, sino que a restricciones en la oferta y a la inflación de los costos. Este último factor, sin embargo, no significará ampliar los márgenes de utilidad, sino que mantenerlos.

La industria del litio global ha progresado. Hasta 2007 había tres grandes empresas productoras de litio, ahora hay cinco. Con la entrada de nuevas empresas, el sistema de precios de la industria podría variar, pero, de acuerdo a la experiencia histórica en otros metales, ello no significaría aumentar el nivel de precios, sino que introducir una mayor volatilidad a este, y tal vez, reducirlo.

La sobre capacidad de producción existente en la industria a nivel global, mayor a un 40% con respecto a la demanda, podría traer consecuencias en el precio en el corto y mediano plazo, pero ello sería a la baja, y no al alza, ya que el objetivo final sería sacar del mercado a los productores que tienen mayores costos. SQM y SCL tienen bajos costos de producción, pero no es evidente en donde se ubicarán los costos de aquellas empresas que ganen los CEOL.

Se demostró que el valor agregado que se le puede añadir al litio exportado depende del fluctuante precio de los compuestos exportados, además de la tecnología disponible en Chile, y de otros factores tales como el riesgo de transporte, por ejemplo para el butyl litio. Chile exporta

---

<sup>101</sup> Litio: El petróleo del futuro que Chile regala, titulaba Elciudadano.cl el 2 de febrero 2012.

carbonato, hidróxido y cloruro, que son los tres compuestos más usados en la industria aparte de los concentrados de espodumeno, los que Chile no produce. El cloruro de litio no tendría una ventaja sobre el carbonato de litio desde la perspectiva del precio.

Más allá de las consideraciones prácticas respecto al valor agregado, no hay que olvidar que este es posible siempre que haya capacidad científica y tecnológica en la materia en Chile. Y ello no ocurre debido a una deficiente política del Estado desde la partida de la industria del litio en el país.

Mantengo plenamente lo escrito en 1986 en el prólogo del libro “El litio, un nuevo recurso para Chile”. Decía entonces “El litio tiene al menos dos aplicaciones de gran proyección futura que se encuentran limitadas actualmente por el desarrollo de nuevos materiales: en las baterías de potencia para el transporte y en la fusión nuclear”. Mas adelante agregaba “Este libro incluye también una exploración de aquellas ideas y temas en que podemos hacer importantes aportes a la industria mundial del litio del futuro. Esto se hace particularmente relevante considerando que a partir de 1992 podríamos ser los mayores productores de litio en el mundo. ¿Por qué no ser entonces uno de los productores de tecnologías del litio? ¿Por qué no integrar verticalmente nuestra industria del litio, desde la extracción hasta sofisticados productos? Esto es ciertamente lo que nunca hicimos antes con ninguna de nuestras otras materias primas”.

Pero a la vez de mantener estos puntos de vista se observa que Chile no ha mostrado vocación de investigación e innovación en litio en las últimas décadas. Las políticas científicas de los últimos 30 años resultaron en que los principales fondos nacionales no destinaron recursos para el litio. Previendo esta realidad, abandoné, junto a otros, la investigación científica en litio hace 20 años.

La falta de nuevos proyectos productivos de litio del país ha llevado a que no se reporten nuevas reservas y recursos de litio en Chile desde que SQM hizo exploraciones en el Salar de Atacama en 2007. Así Chile pasó de tener 40% de los recursos globales de litio en 1976 a 24% en 2008, y a 17,8% en 2012. Y ello sin considerar los inmensos recursos descubiertos recientemente en Afganistán.

Los permisos para explotar otros salares y para aumentar la producción en el Salar de Atacama es lo único que puede llevar a las empresas a realizar más exploración y aumentar las reservas del país.

Entonces, Chile se quedó atrás en producción y en reservas y recursos de litio. ¿Y ahora qué?

El país debe seguir adelante con los CEOL los que permiten incorporar nuevas empresas a la explotación del litio en Chile y extender dicha explotación a otros salares, además del de Atacama. Hay que tener claro, sin embargo, que los únicos que tendrían posibilidades reales de aumentar considerablemente la producción de litio de Chile en los próximos cuatro a cinco años, mientras comience a funcionar los CEOL, son las dos empresas que ya explotan el litio en el Salar de Atacama.

Pero estas tienen sus manos atadas. Con la actual capacidad de producción con que cuentan SQM y SCL, ambas llegarán a los límites de producción fijados en los contratos con Corfo dentro de los próximos 10 años. Ello es un plazo muy corto en minería, si se quieren hacer inversiones y alianzas con productores de productos más sofisticados.



¿Es conveniente para el país reemplazar estas dos empresas cuando expiren sus permisos de producción, por otras que exploten el Salar de Atacama en el futuro? ¿Qué ventajas tendría cambiar estas dos empresas por otras dos, considerando que SQM y SCL ya cuentan con la tecnología y el conocimiento del mercado, y que han liderado la industria global en las últimas décadas?

Resulta difícil imaginar qué otras empresas podrían hacerlo mejor para el país. La pregunta que debe hacerse, en cambio, es ¿Qué condiciones que resulten satisfactorias para el país se le pedirá a estas dos empresas para extender sus permisos en el Salar de Atacama? Ello implicará, seguramente, renegociar el pago de “Royalties”, examinar alternativas que permitan aprovechar mejor el recurso, generar mayor valor para los chilenos, e introducir los procedimientos que protejan a placer el ecosistema del Salar y, por ende, la imagen del Estado chileno, de las empresas productoras, y de la exportación de litio del país.

## **17- Agradecimientos.**

Este trabajo fue financiado por el Programa de Investigación en Economía de Minerales de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Debo muchos agradecimientos a numerosas personas expertas y conocedoras de esta industria que me comentaron en varios momentos sobre aspectos que aparecen en el trabajo. Primero quisiera agradecer a Pedro Pavlovic, a quien conozco desde hace 30 años y quien, desde entonces, siempre me ayudó cuando necesité, a entender aspectos desconocidos sobre esta industria. Pedro me proporcionó numerosos documentos y comentarios a lo largo del último año, además de concederme dos largas entrevistas. Agradezco el apoyo en aclarar dudas sobre diversos aspectos de la industria a Andrés Yaksic, quien hizo su tesis de Magíster en Colorado, como alumno de la PUC, llegando a saber más del litio que los expertos del USGS, cuyos archivos indagó en profundidad. Andrés me proporcionó numerosos datos, y por sobre todo, comentarios. Agradezco a Eduardo Morales, quien me habló extensamente sobre su perspectiva y conocimiento de esta industria, en la que estuvo desde su juventud. No puedo dejar fuera de los agradecimientos a John Tilton y Marcos Lima con los que trabajo desde hace más de una década en el Centro de Minería, quienes, mediante sus aportes me permitieron tener una rica perspectiva de esta y de otras industrias minerales. Agradezco a Daniela Desormeaux, Patrick Cussen y varios otros miembros de Cesco, Pablo Wagner, José Joaquín Jara, y a los miembros de la Comisión de Minería y Energía del Senado, senadoras Isabel Allende, Ximena Rincón, y senadores Jaime Orpis y Carlos Cantero, por los comentarios y aportes que fueron completando un amplio espectro de opiniones, necesarias para escribir sobre el debate del litio en Chile. Agradezco muy especialmente el aporte gigante que hizo David Peters quien trabaja como Investigador en el Programa de Investigación en Economía de Minerales de la PUC. Sin su discusión y revisión constante de los datos contenidos en este estudio, no habría sido posible terminar el trabajo.

## **18- Referencias.**

Afganistán, 2010, Recursos de Litio, <http://gizmodo.com/5562473/massive-afghanistan-lithium-deposit-as-in-batteries-could-alter-nations-economy>, 13 de junio 2010.

Anderson Bjorn (2001), Material Constraints on Technology Evolution: The Case of Scarce Metals and Emerging Energy Technologies, Ph.D. Thesis, Department of Physical Resource Theory, Chalmers University of Technology and Goteberg University, Göteborg, Sweden 2001.

Aserta Consultores, 2010, Condiciones presentes y futuras para la explotación del litio, Santiago, Chile.

Bogart, S. Lockhart, 1976, Fusion power and the potential lithium requirement, US. Energy Research and Development Administration, Washington D.C., in Lithium Resources and Requirements by the year 2000, Geological Survey Professional Paper 1005, USA., pp. 12-21.

British Geological Survey. World Mineral Statistics. Production:Exports:Imports. Ediciones de 1990 a 1999. Keyworth, Nottingham, NG12 5GG.

BGR Polinares, 2012, Fact Sheet: Lithium, Working paper number 38, March 2012, BGR (Raw Materials Group, Fraunhofer Institute, Germany) and Polinares (European Commission Policy on Natural Resources).

Chilenskas, A. A., Berstein, G. J., and Ivins, R. O., 1976, Lithium requirements for high energy lithium-aluminum/iron-sulfide batteries for load leveling and electric-vehicle applications, j\_n\_Vine, J. D., ed., Lithium Resources and Requirements by the year 2000, U.S. Geological Survey Professional Paper 1005, USA, pp. 5-9.

Clarín 2011, Diario Clarín, Buenos Aires, Argentina, 30 de junio 2011.

Clarke Gerry, 2011, Lithium Availability Wall Map June 2011, Editor of Industrial Minerals and Director of Metal Bulletin plc., USA.

Cochilco 2009, Comisión Chilena del Cobre, Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: litio, DE/12/09, Registro Propiedad Intelectual N° 184.825, Santiago, Chile.

Corfo, 1982, Pedro Pavlovic, Felipe Vergara, Carlos Silva B., Luis Iracabal L., Miguel Córdova M., "Bases para una política de desarrollo del litio en Chile: Proposición", Comité de Sales Mixtas, Corfo, Santiago, Chile, Mayo 1982.

CSM Corfo, 1980, Memoria de actividades, Comité de Sales Mixtas, Santiago, Chile.

Eichengreen Barry, 2007, The European Economy since 1945, Princeton University Press, NJ, USA

Engel-Bader Monika, President Chemetall GmbH, Seminar Sociedad Nacional de Minería "Lithium and national economy", Santiago de Chile, August 5th 2010.

Evans R. Keith, 1976, National Research Council Panel on lithium, USA.

Evans R. Keith, 1978, Lithium Reserves and Resources, Energy, vol 3, pp 379-385.

Evans R. Keith, 1984, Reservas y recursos de litio en el mundo occidental, en "El litio: un nuevo recurso para Chile", editado por G. Lagos, Universidad de Chile, pp. 45-52, Santiago, Chile.

Evans R. Keith, (1986) "Western World Lithium Reserves and Resources" The Institute of Metals. Aluminium-Lithium Alloys III. Proceedings of the 1985 Conference.

- Evans Keith, 2008-a, An abundance of lithium, Marzo 2008, <http://.worldlithium.com>
- Evans Keith, 2008-b, An abundance of lithium: part II, November 2008, <http://.worldlithium.com> (20-11-08).
- Evans R. Keith, 2009, Lithium resources, are they adequate?, posted online, January 2009.
- Evans R. Keith, 2012, An overabundance of Lithium? Potential supply and demand estimates to 2020, 4<sup>th</sup> Lithium Supply & Markets Conference, 23-25 January 2012, Buenos Aires, Argentina.
- Fasel D., and M.Q. Tran, 2005, Availability of lithium in the context of future D-T fusion reactors, Fusion Eng. And Design, 75-79 (2005), pp 1163-1168.
- Guzmán Juan Ignacio, 2007, Tesis de Doctor en Ciencias de la Ingeniería, Essays in industrial organization applied to mineral markets, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Kogel, J., E. Trivedi, N.C., Barker, J.M.,Krukowsk, S.T. editors 2006, Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets, and Uses, 7th edition. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, USA.
- Krugman Paul, 2009, The return of depression economics and the crisis of 2008, W.W. Norton & Company Inc., NY, USA.
- Kunasz Ihor, 1976, Foote Mineral Company, Exton PA, Lithium Resources - Prospects for the future, in Lithium Resources and Requirements by the Year 2000, Geological Survey Professional Paper 1005, 1976
- Kunasz Ihor, 1986, Reservas mundiales de litio, publicado en "El litio: un nuevo recurso para Chile", editado por G. Lagos, Universidad de Chile, pp. 33-43, Santiago, Chile.
- Lagos Gustavo (editor), 1986. El litio, un nuevo recurso para Chile. 1er Simposio Chileno sobre el Litio, realizado en septiembre de 1985 en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Lagos Gustavo, Competition and Commodity Price Volatility, Global Forum on Competition de la OECD, Paris, France, 16 February 2012.
- Metal Bulletin, 2009, A five year outlook for the lithium industry, N.Y., E.E.U.U.
- Tahil, (W.) - (2008), The Trouble with Lithium: Implications of Future PHEV Production for Lithium Demand. Meridian International Research [Online]. <http://www.meridian-int-rescom> (19.11.08).
- Moraga, A., Chong,G., Fortt, M.A., y Henríquez, H., 1974. Estudio geológico del Salar de Atacama. Provincia de Antofagasta. Boletín del Instituto de Investigaciones Geológicas, N° 29, 1974.
- Morales Eduardo, 2011, Comunicación personal.
- Pavlovic Pedro, 1990, Desarrollo de la industria del litio en Chile, Química e Industria, Revista de la Sociedad Chilena de Química, Santiago, Chile, julio 1990, pp 4-19.

Pavlovic Pedro, 2002, Capítulo 2.1 Reservas de litio. En: Estudio Económico Jurídico de una eventual liberalización de la explotación y comercialización del litio, no publicado, Estudio del Ministerio de Minería de Chile, Santiago, Chile.

Piñera, José, 1981. Fundamentos de la Ley Constitucional Minera. Editado por Economía y Sociedad Ltda. Reeditado en 2002.

Radetzki Marian, 2011, El Cenit del Petróleo y amenazas similares, quimeras sin sustancia, publicado en el Vol VIII del Foro en Economía de Minerales, Editado por Gustavo Lagos, Ediciones Universidad católica, Santiago, Chile.

Radetzki Marian, 2012, Politics – not OPEC interventions – explain oil’s extraordinary price history, Energy Policy Manuscript number JEPO-D-12-00500.

Rockwood (2011), Rockwood powered by lithium, Creativity and performance, June 2011, N.J., USA.

Roskill, 1984, The Economics of Lithium. Fourth Edition. Roskill Information Services Ltd., London, UK.

Roskill, 1990, The Economics of Lithium. Sixth Edition. Roskill Information Services Ltd., London, UK.

Roskill, 2003, The Economics of Lithium. Ninth Edition. Roskill Information Services Ltd., London, UK.

Roskill, 2009, The Economics of Lithium, 11th edition 2009. Roskill Information Services Ltd., London, UK.

Roskill 2012, Robert, Baylis, Vehicle electrification and other lithium end-uses: how big and how quickly?, 4<sup>th</sup> Lithium Supply & Markets Conference, 23-25 January 2012, Buenos Aires, Argentina.

Solminihac P., 2009: Patricio de Solminihac, Lithium Resources and View of the Lithium Industry, Lithium Supply Markets 2009, Santiago, Chile, January 2009, SQM, Santiago, Chile.

Solminihac P., 2010: Patricio de Solminihac, El Litio y la Economía Nacional, “Recursos de Litio en el Mundo y Chile”, 5 de agosto de 2010, SQM, Santiago, Chile.

Steinberg Meyer and V.D. Dang, 1975, Preliminary design and analysis of a process for the extraction of lithium from seawater, Brookhaven National Laboratory, Upton, N.J., in Lithium Resources and Requirements by the Year 2000, Professional Paper 1005, Geological Survey.

Strauss Simon, 1986, Trouble in the third kingdom, Mining Journal Books Ltd, London, U.K.

Tahil William 2006, “The Trouble with Lithium 1”, Meridian International Research, Martainville, Francia, diciembre 2006.

Tahil William, 2008, The Trouble with Lithium 2: Under the microscope, Meridian International Research, Martainville, Francia, mayo 2008.

Talison 2011, GREENBUSHES LITHIUM OPERATIONS, NI 43-101 TECHNICAL REPORT, 15th JUNE 2011, Report Prepared for TALISON LITHIUM LIMITED, Level 9, 80 Mount Street, North Sydney, New South Wales 2060, Australia.

USGS 2009, A resource/reserve classification for minerals. In: Mineral Commodity Summaries, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Reston.

USGS 2010, Lithium Statistics, Last modification, October 20, 2010, U.S. Geological Survey.

Wagner Gert, 2005, Un siglo de tributación minera, publicado en el Foro de Economía de Minerales, Minería y Desarrollo, editado por G. Lagos, Ediciones Universidad Católica, vol 3, pp 229-270, Santiago, Chile.

Weil M., S. Ziemann, L. Schebek, 2009, Karlsruhe Research Centre, Institute for Technology Assessment and Systema Analysis, La Revue de Metallurgie, CIT, Diciembre 2009.

Yaksic Andres, John E. Tilton, 2009. Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: The case of lithium, Resources Policy, Volume 34, Issue 4, December 2009, Pages 185-194.

Zambra M., 2008, "Importancia del Litio en el Futuro Proceso Comercial de la Fusión Nuclear", Comisión Chilena de Energía Nuclear, 12 de agosto 2008, Santiago, Chile.