



LITIO

SERIE DEBATE PÚBLICO Nº 54



- **La energía del litio en Sudamérica** *Pág. 5*
- **La industrialización del litio y potasio en Bolivia** *Pág. 19*
- **El ABC del litio sudamericano. Un análisis sociotécnico en torno al desarrollo de los yacimientos evaporíticos de Argentina, Bolivia y Chile** *Pág. 41*
- **Dimensiones y atributos estratégicos de la industrialización del litio en Bolivia** *Pág. 55*



Director: Juan Carlos Núñez

Coordinación General: Waldo Gómez

Elaboración: Héctor Córdova

Edición: Jorge Jiménez Jemio

Dirección: Edificio Esperanza,
Av. Mcal. Santa Cruz 2150, piso 2

Telefax:

(591-2) 2125177 – 2311074

Correo electrónico:

fundajub@entelnet.bo

2017

Con apoyo de:



Presentación

Muchos países del mundo demandan mayor energía en procura del crecimiento económico; pero, a la vez, una energía más limpia. En este proceso de transición de la explotación de combustibles fósiles hacia energías renovables, el litio se constituye en un recurso estratégico e indispensable en la búsqueda de alternativas.

Bolivia posee una de las reservas de litio más importantes en el mundo, se trata de una nueva oportunidad para el desarrollo, más aún, considerando que otras fuentes de energía tienden a su agotamiento. Este nuevo escenario permitiría generar ingresos fiscales, los cuales, deberían estar direccionados hacia planes sostenibles de desarrollo, impulsando la productividad y la diversificación económica, como fuentes fundamentales para generar empleo y mejorar la calidad de vida de la población, la que es propietaria de este recurso natural.

No se pueden repetir experiencias que sólo fomenten el rentismo y la visión de corto plazo, tanto en el Estado, en sus distintos niveles, como en la sociedad y sus organizaciones e instituciones representativas.

Este nuevo momento trae importantes desafíos para quienes administran el Estado y para la sociedad; para no depender de intereses foráneos que sólo pretenden extraer la materia prima y, por otro lado, por la necesidad de generar recursos humanos calificados que respondan a los requerimientos tecnológicos que demanda la explotación e industrialización del litio.

Ponemos en sus manos este documento con aportes de reconocidos expertos, con el fin de contribuir a una adecuada información; pero también para un debate constructivo que permita una amplia participación e involucramiento de la sociedad y, de esta manera, se asuman decisiones estratégicas con legitimidad y transparencia.

Introducción

En años anteriores se observó la presencia casi ininterrumpida de representantes de varios países, interesados en ser parte del proyecto del litio. No compartían la posición del país de querer hacer las cosas por sí mismo; pero lentamente entendieron que ésta era una posición estatal y disminuyeron la presión. Algunos pedían sólo la materia prima para fabricar las baterías en sus territorios, otros querían que todo lo que surgiese como resultado de la investigación fuera registrado como de ellos, otros proponían buenas tecnologías, pero para las que había que importar más de 80% de los insumos de sus fábricas.

Se veía al país como un proveedor de materias primas, incapaz de sacar adelante la industrialización de este recurso. Ésta es una de las pocas oportunidades para revertir la situación a favor del país y, si es así, se debe apoyar el esfuerzo.

En el salar de Uyuni, el litio tiene un acompañante (magnesio) que perjudica la recuperación del metal energético. Esta presencia aumenta los costos operativos y disminuye la calidad del producto en sus primeras fases. Por otra parte, el cambio climático tiende a hacer que las lluvias se queden más tiempo en la zona obstaculizando el trabajo de las piscinas de evaporación.

Otro acompañante del litio, esta vez no dañino, es el potasio que puede ser obtenido como sales de potasio sin interferir con la recuperación del litio. Este compuesto es apetecido por la gran agricultura de países vecinos y, por el volumen en que se encuentra en el salar, su explotación puede ser la operación que cubra todos los costos del proceso.

Por tanto, la explotación del salar, en una primera etapa, proyecta tres productos comerciales: sales de potasio, carbonato de litio y cloruro de magnesio. El primero muy demandado, el segundo, base para la fabricación de las baterías y el tercero con uso limitado, pero interesante.

El carbonato de litio será aprovechado para las baterías sobre la base de un complejo industrial que manufacture todos los componentes de estos productos. Varias fábricas se levantarán alrededor de la factoría de baterías para proveerle de los insumos necesarios.

Se proyecta fabricar 700.000 toneladas anuales de sales de potasio y 30.000 de carbonato de litio. La cantidad de baterías dependerá de la dimensión de las mismas y de la demanda.

Se pretende trabajar —al menos en las primeras fases del proyecto— con tecnología, técnicos y capital nacional. Es vital asumir estos desafíos y capacidades.

Mientras los precios de las materias primas estén altos, es posible esperar un tiempo para que el proyecto entre en fase productiva. A esto debe asociarse el hecho de la creciente demanda que, obviamente, puede cambiar en cualquier momento que surja una alternativa equivalente a las baterías de litio.

Hasta el momento, las acciones de la Gerencia de Recursos Evaporíticos han sido coherentes con la política. Respecto al tiempo de ejecución, hubo varios factores que obstaculizaron el avance más rápido del proyecto: inconvenientes internos, presiones externas, burocracia, retrasos en el financiamiento, normas inadecuadas, inexperiencia e incompreensión. A pesar de todo, hay una línea trazada para llevar adelante un proyecto extremadamente complejo.

Por otra parte, el Gobierno determinó sacar el proyecto del seno de la COMIBOL y lo puso en el área del nuevo Ministerio de Energía.

¿Qué podría hacerse mejor? Las críticas difundidas por distintos canales de comunicación apuntan a dos aspectos: las piscinas de evaporación y la contaminación ambiental en la etapa final del proceso. Parecería que las piscinas no son tan eficientes y que la contaminación que se generaría sobrepasaría lo aceptable.

Las universidades que cuentan con profesionales de alto nivel y entendidos en el tema pueden investigar sobre alternativas y otras posibilidades. Correspondería a la Gerencia considerar sus resultados.



La energía del litio en Sudamérica

Bruno Fornillo¹ y Julián Zicari²

La causa central del cambio ambiental global reside en la emisión de dióxido de carbono (CO²) emitido por el tipo de matriz energética predominante, basada en combustibles fósiles. A raíz de ello, es preciso encarar una “transición energética” que se soporte en fuentes renovables y sustentables. Las baterías de litio contribuirían a este tema energético completamente renovado, ya que podrían servir para traccionar los transportes, oficiar de reserva de energía sustentable (que es mayormente eléctrica) y posibilitar la movilidad de múltiples dispositivos. En Sudamérica se encuentra el 80 por ciento de las reservas más rentables de litio del planeta, en el “Triángulo del litio” que conforman los salares andinos de Argentina, Bolivia y Chile, despertando la ilusión de participar en el vector energético naciente. En este marco, repasamos el mercado mundial del litio y de las baterías, la situación general de las explotaciones y los intentos por generar una articulación entre países litíferos del cono sur, así como sus diferentes intentos por fabricar las baterías de ion-litio. El objeto del capítulo consiste en brindar una mirada general de la “cuestión litio” en nuestra región y subraya la importancia de avanzar en la cadena de valor antes que permanecer encandilados ante la simple materia prima.

■ Introducción

La “ecuación energética” representa una problemática global, constituyéndose en uno de los componentes más importantes a la hora de trazar un diagnóstico cierto sobre el curso de la geopolítica mundial de hoy, más aun considerando que el modelo de civilización basado en el consumo de hidrocarburos acusa un límite tan cercano como peligroso (Klare, 2008). En efecto, asistimos a la lenta, pero segura instalación de un nuevo orden energético mundial: Restricciones sobre el otrora “fácil acceso” (por “contracción de recursos” y concentración

1 Doctor en geopolítica e historiador. Universidad de Buenos Aires — Conicet.

2 Economista. Universidad de Buenos Aires — Conicet.

de la oferta), consecuencias ecológicas de su explotación (representa 56% de las emisiones de gases de efecto invernadero en el planeta), aumento de la demanda de las economías de Asia-Pacífico, son tan sólo algunas de las coordenadas del escenario actual (Servín, 2012). Si no se hiciese nada para modificar esta situación, esto es, en un escenario global de “continuidad de políticas”, para el año 2035 la temperatura del planeta habrá aumentado 6 grados, haciendo imposible pronosticar sus consecuencias. Sólo una reducción de la demanda de combustibles fósiles, una baja en su explotación, una caída acelerada y sostenida de la intensidad energética (cantidad de energía que se precisa por punto de PBI) y un decaimiento de la emisión de CO₂, permitiría esperar un escenario en el que la temperatura aumentase “sólo 2 grados” en comparación con la época pre-capitalista (AIE-GGE, 2011). Bajo estas condiciones, si la cuestión energética es una causa central del cambio ambiental global también representa una palanca clave para su solución.

Pródiga en bienes naturales, Sudamérica guarda en los salares del altiplano cantidades abundantes de litio, materia prima básica para la confección de los reservorios de energía que serán medulares en una sociedad pos-fósil. Un teléfono celular, una computadora portátil, una *tablet* se desplazan gracias a la



Combatir el cambio climático requiere orientarse hacia un sistema energético sustentable, en el que las baterías de litio cumplirán un papel central.

acumulación energética de las baterías ion-litio; y sin ellas un satélite no entraría en órbita o una nave espacial no sobreviviría. Naturalmente, millones de autos quemando combustible fósil alrededor del planeta podrían ser reemplazados por vehículos eléctricos o híbridos. La diferencia de precio entre la materia prima pura y la batería es significativa: una tonelada de carbonato de litio cuesta alrededor de \$us 6.000 mientras que una batería de auto, que utiliza alrededor de 10 Kg., entre \$us 10.000 y 20.000. Pero la potencialidad del litio no termina aquí, la transición hacia un sistema energético sustentable requerirá de interminables reservorios de energía. En efecto, una sociedad basada en fuentes alternativas deberá contar con módulos de almacenamiento descentralizados, con sistemas de movilidad pública y eléctrica, con redes inteligentes que calculen la energía que utiliza, almacena y produce un hogar, y para todo ello también servirán las baterías de litio. Nos encontramos, por tanto, ante un mineral situado en el corazón de una sociedad ecológicamente sustentable, de energías limpias e innovación tecnológica, que contribuye a evitar los peligros ecológico-sociales que amenazan al naciente siglo XXI. En suma, combatir

el cambio climático requiere orientarse hacia un sistema energético sustentable, en el que las baterías de litio cumplirán un papel central, en tantos reservorios de electricidad y fuentes de tracción.

La abundante posesión del litio en los países de la puna (65% de las reservas mundiales) despierta la ilusión de ejercer una influencia significativa en el mercado de la materia prima así como de producir las complejas baterías de ion-litio. Acorde con este anhelo, pulularon las visiones de que aquí se gesta la “Arabia Saudita del litio”, asegurando a unos pocos países Argentina, Bolivia, Chile- ser los privilegiados poseedores del “oro blanco” o del “petróleo del siglo XXI”. No hay estudio académico, nota periodística o relato estatal en nuestra región que no asuma esta imagen centrada en las bondades de contar con la materia prima. Ante ella, oponemos otra que hace especial hincapié en la necesaria articulación entre transformación de la matriz energética, industria de las baterías, conocimiento científico y política regional, para de ese modo alumbrar un modelo de desarrollo renovado.

■ Puntos centrales del mercado mundial de las baterías

La premisa de industrializar el litio y producir baterías en la región debe contemplar que, actualmente, la “factoría asiática” es el principal núcleo exportador. Así, Japón y Corea han sido los países pioneros en la investigación y desarrollo de este tipo de producción, mientras que China ingresó al mercado sólo como productor de pilas y baterías de menor costo y calidad, pero logrando tener más de 100 fabricantes locales (Ministerio de Economía, 2011). El carbonato de litio importado por estos tres países del sudeste asiático sumó 51,5% del total mundial, en 2013; ese año, estos mismo países exportaron casi 19% de las pilas y baterías de litio; pero llegando a 45% si se agrega a los países que funcionan como reexportadores de aquellos por cuestiones fiscales (Singapur, Hong Kong e Indonesia, ver Cuadro N° 1).

Esos tres países consumen casi la mitad del carbonato de litio mundial para exportar casi igual porcentaje de las baterías y pilas eléctricas del mundo, ocupando un lugar cada vez más destacado en el mercado: su participación creció de 40% a casi 50% entre 2001 y 2013, cuando la producción mundial casi se triplicó en esos años (lo cual indica que tuvieron un crecimiento más aprisa que el ofrecido por el mercado mundial, liderando así su expansión). China, Corea y Japón compiten entre sí, siendo una de las causas que contribuyen a bajar el costo de las baterías. A su vez, si la oferta de la producción de pilas y baterías es relativamente acotada, esto se reduce aún más si se considera la chance de fabricar la totalidad de los componentes técnicos. Como indicó la ingeniera Juana Olivares, encargada de dirigir una fábrica prototipo en Bolivia que intenta la producción local de las baterías, explicando la dificultad, por el momento, de una producción 100% nacional: “ningún país tiene esa capacidad, incluso China debe importar la membrana separadora de Japón que es el único país que cuenta con ese material y viene desarrollando su tecnología desde hace más de 20 años” (S/D, 2014: I). Es por ello que para los países latinoamericanos, la posibilidad de una fabricación plena de la batería aparece como un sueño difícil.

CUADRO 2
Exportación Mundial Total (Valor en \$us)

Total	715	776	1.044	1.170	1.129	1.157	1.233	1.468	1.485	1.815	1.871	1.965	387
Países	Exportación mundial por país (porcentaje del valor total)												
EEUU	15,3	14,8	13,8	15,3	20,6	24,1	22,7	21,9	23,6	20,1	19,0	18,9	19,2
Singapur	4,29	5,02	8,20	8,32	6,08	6,03	6,78	9,50	13,4	12,4	12,8	14,8	16,5
Hong Kong (China)	3,98	4,40	4,30	10,1	13,8	9,95	7,98	7,71	7,60	8,92	8,92	10,5	1,29
Japón	29,2	26,4	17,7	15,1	13,5	14,6	14,8	12,4	9,49	10,0	9,83	9,19	7,66
China	1,46	1,97	3,72	4,21	4,87	3,86	5,07	5,04	5,12	5,60	6,16	6,32	8,62
Indonesia	1,82	2,27	1,97	2,32	3,18	4,08	3,83	3,29	3,43	4,25	5,45	5,52	7,81
Canadá	0,52	0,87	0,55	1,00	1,57	2,02	2,67	2,25	1,65	1,47	2,97		4,81
Alemania	7,70	7,61	5,85	7,83	7,25	6,77	6,38	5,41	5,44	4,65	5,64	4,95	6,23
Francia	6,38	7,08	5,93	6,18	5,31	6,23	6,00	5,83	5,25	4,62	4,96	4,85	5,11
Reino Unido	3,10	2,47	3,35	4,41	4,21	4,38	4,34	4,74	4,20	3,90	4,45	3,87	3,63
Bélgica	4,79	6,82	5,94	5,29	4,67	3,66	3,08	3,07	2,82	2,66	2,90	3,17	3,25
Holanda	1,42	1,59	1,82		1,10	1,06	2,99	3,21	2,15	2,25	2,66	2,58	2,73
Corea del Sur	1,01	1,30		1,40				2,93	2,34		2,03	2,39	2,76
Suiza	1,83	1,72	1,69	2,07		3,35	3,77	3,66	2,79	2,93	2,25	0,99	1,01
México	4,59	1,57	0,91	0,47	0,46	0,24	0,34	0,23	0,76	0,94	0,70	0,93	0,71
Otros	12,5	13,98	23,07	14,65	9,77	8,09	7,34	8,73	9,84	13,3	9,15	6,04	8,54
Total mundial	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia con base en datos de TRADEMAP.



A futuro, el sector automotriz y sus empresas insignia desputan como actores claves del proceso. En este caso, con el paulatino agotamiento del petróleo, el encarecimiento de sus costos y/o las presiones para pasar a un paradigma de *energías verdes*, las empresas automotrices se habrán lanzado a la carrera de buscar liderar el nuevo proceso de fabricación de autos eléctricos que, lentamente, viene creciendo. Así, en el año 2007 se produjeron 500 mil unidades cuando la producción mundial total de automóviles fue ése año de 73 millones de unidades (COCHILCO, 2009: 7); es decir, una porción mínima que apenas cubrió el 0,68% del mercado, aunque los números han ido creciendo. En los países centrales, ninguno de los gobiernos quiere quedarse atrás de lo que se presenta como el futuro del mercado automotriz, ya que los beneficios tecnológicos, laborales, industriales y económicos de la producción de automóviles son inmensos, mucho más combinados con la fuerza que implica dominar las nuevas tecnologías. Por lo cual, varias naciones están promoviendo activamente a las diferentes empresas a investigar y desarrollar los autos eléctricos; por ejemplo, el Departamento de Energía de Estados Unidos asignó una partida de \$us 2.400 millones en subsidios para el desarrollo de baterías y componentes de conducción eléctricas de vehículos a través de la *American Recovery and Reinvestment* (Act de 2009); de esa partida deben destinarse \$us 940 millones (casi 40%) a la producción de baterías de Li-Ion. El proyecto *LIVE* (siglas de Logística para la Implementación de Vehículos Eléctricos) de Barcelona (España) planea reconvertir el área metropolitana para el uso de vehículos eléctricos, a través del Ayuntamiento de la ciudad, varias empresas y ONG (Ministerio de Economía, 2011: 43).

El gobierno alemán también ha dado suministros y apoyos en una dirección similar, con el anhelo de producir para el año 2020 un millón de vehículos eléctricos (CEDHA, 2012: 21).

Sin embargo, por más que se puedan desarrollar las nuevas tecnologías, el futuro del litio no puede ligarse exclusivamente a esto. Si bien el crecimiento de la industria del transporte puede convertirse en su motor más dinámico, no debe exagerarse el rol que cumple el litio. Por un lado, aunque el litio sea un componente central de la industria, volviéndose casi irremplazable (no es casualidad que el tipo de batería que se

piensa usar se llame, justamente, Li-Ion), también es verdad que el peso de la materia prima en la cadena de valor es bastante menor. En efecto, para producir una batería eléctrica para autos, bajo la tecnología y valor actuales, se requiere entre 7 y 15 kilos de litio, costo que oscila, apenas, entre los 42 y 90 dólares por vehículo. No obstante, el valor final de una batería se encuentra entre los 8 y 18 mil dólares, volviéndose el litio, en tanto materia prima, una proporción cercana a 0,5% del total (ver Cuadro N° 2). A su vez, si se tiene en cuenta que las baterías son tan sólo una parte del total del costo de un automóvil, el peso que ocupa el litio en el valor final es, entonces, muy bajo. Es por eso que a las automotrices no parece preocuparles el precio del recurso, sino simplemente asegurarse una pequeña provisión de él hacia futuro. En este caso, las empresas no aspiran a tener un monopolio de la materia prima o a estar intranquilas por la evolución de su precio, ya que es muy poco lo que requieren y menor aún la capacidad del insumo de influir en el precio final de los vehículos.

Una batería requiere entre 7 y 15 kilos de litio, el costo de esta materia prima oscilaría entre 42 a 90 dólares; en tanto que el precio final de la batería costaría entre 8.000 a 18.000 dólares.

Bajo este panorama, la mayoría de las empresas (europeas, asiáticas o estadounidenses) han decidido utilizar como principal estrategia asociarse con diversas compañías mineras —en general transnacionales—, financiando sus proyectos, exploraciones y explotaciones, con el único fin de acceder, de un modo seguro, al recurso, por largos periodos que van desde 20 a 50 años. Es obvio que ninguna empresa desarrollará un plan de reconversión tecnológica multimillonario, de largo plazo, sin tener la confianza de la provisión de los insumos que ésta implique (Muscatelli, 2010). En el caso argentino, este tipo de estrategia, de simple resguardo del abastecimiento de litio, se muestra de manera plena. Así, la automotriz japonesa Toyota se asoció con la minera australiana Orocobre Ltd. para explotar el Salar de Olaroz (provincia de Jujuy), Magna y Mitsubishi (también de Japón) lo hicieron en el Salar de Cauchari (provincia de Salta) con la minera canadiense Lithium Americas, mientras que la automotriz coreana Kores lo hizo con Lithium One (minera canadiense-china) para explotar el yacimiento Sal de Vida en Catamarca (Sevares y Krzemien, 2012: 141). Así, las automotrices, si bien son un agente fundamental de la cadena de comercialización, en ningún caso reclaman la exclusividad o control del litio en la región, ya que sus contratos con las mineras sólo se refieren a una parte de la producción total lograda, quedando luego en libertad de vender el producto como y a quienes quieran (sin mostrar preocupación por los aumentos que pudiera sufrir el precio de cotización).

CUADRO 2

Tipo de batería según tipo de auto e incidencia del litio en el costo

Tipo de batería según tipo de auto	EV	PHEV	HEV
Capacidad batería	25 kwh	12 kwh	2 kwh
Cantidad de carbonato de litio requerido	15 kg	7,5 kg	1,5 kg
Costo del litio total requerido (z 6 \$us/Kg)	\$us 90	\$us 45	\$us 10
Precio final de la batería (z 700 \$us/kmh)	\$us 17.500	\$us 9.000	\$us 1.400
Incidencia del litio en el costo unitario final	0,51%	0,50%	

Fuente: Elaboración propia.

En definitiva, lo cierto es que el mercado de baterías está pivotando hacia el eje asiático, que las produce a un costo relativamente bajo y controla insumos claves. Además, el porcentaje del litio en el precio total de la batería es menor, de allí que a las grandes cadenas globales de producción sólo les interese asegurarse su abastecimiento.

Habiendo repasado este escenario global general, centrémonos ahora en el mercado de la materia prima.

■ El mercado del litio

Es muy difícil predecir el futuro, todavía más en un mundo tan complejo y cambiante como el actual. Sin embargo, satélites, naves espaciales, energías renovables, baterías recargables de los celulares, filmadoras, *tablets* y cámaras digitales, marcapasos, reactores atómicos, vehículos eléctricos, medicamentos antidepresivos, grasas, vidrios y cerámicas utilizan litio como un elemento indispensable. Esto permite augurar, de una manera no muy descabellada, que el recurso seguirá demandándose en el mundo y que es muy probable que esto aumente todavía más hacia delante. No obstante, no deben exagerarse los pronósticos con respecto al litio, por más alentadores que puedan ser, ya que existen muchos elementos a considerar.

Las dinámicas previas, que le han ido otorgando al litio un lugar cada vez más importante, corresponden sólo al proceso actual de acumulación histórica, el cual es tan contingente y precario como cualquier otro. El proceso de desarrollo tecnológico está condicionado, centralmente, por la forma en que se politiza la naturaleza. Los ciclos tecnológicos que predominan han demostrado tener una inusitada capacidad de revolucionar y transformar el mundo, siendo ciclos cada vez más acotados y dinámicos en el tiempo, durando cada vez menos. Sólo el nivel de desarrollo y tecnología actuales han permitido sentar las condiciones para que el litio tenga un rol crecientemente central, pero estas condiciones pueden cambiar y desaparecer a una velocidad mayor, incluso, a aquella con la cual llegaron. Muchos factores podrían transformarse frágilmente: las condiciones de acceso al litio podrían verse facilitadas, haciendo caer el precio, posibilitando el recurso a casi todos los países³.

A su vez, los bienes para los cuales se demanda como insumo rápidamente pueden volverse obsoletos, como también la tecnología que promete demandarlo hacia el futuro podría no consolidarse nunca o, de hacerlo, encontrar un fácil sustituto. Esto último es especialmente cierto si se considera que los reemplazos de los combustibles fósiles enfrentan una larga serie de candidatos que disputan su relevo: las baterías de hidrógeno, los biocombustibles, baterías zinc-aire e, incluso, nuevos insumos casi desconocidos, basados en las “tierras raras”. En este sentido, hay un exceso de confianza en el litio, por ejemplo, al mencionarlo como una riqueza de igual grado que el petróleo, cuando la verdadera fuente de su valoración está en una tecnología joven y no del todo consolidada. Por eso, lo que debería vislumbrarse como central del litio no es el proceso de valorización en sí mismo del recurso, sino los esfuerzos para industrializarlo, agregar valor y lograr la fabricación de las baterías de forma local, aprovechando las ventajas comparativas que ofrece contar ya con la materia prima. En esta dirección, se debe tener en cuenta que el lugar del litio en el sector minero en el mundo es casi inexistente. En Argentina, por ejemplo, país que se ha convertido en el tercer productor mundial, ocupó tan sólo 1,14% de la producción minera nacional el año 2011, según el Ministerio de Minería Nacional. Por lo cual, es fácil darse cuenta de lo limitado que es el mercado y, por más que crezca, que también lo seguirá siendo. Sólo al despegar la producción de automóviles o acumuladores de energía de gran escala para los sistemas eléctricos nacionales sería preciso más litio del que se produce actualmente. Sin embargo, si esto sucediese se volverían rentables reservorios que hoy lo son en menor medida, como la extracción del litio contenido en ciertas piedras que, de hecho, es una técnica madura que hace de Australia el segundo exportador mundial.

³ Un caso reciente en dirección al cambio de técnicas de explotación del litio fue la llamada ‘técnica de los conos’, que permitiría bajar el proceso de evaporación de salmueras, el cual puede llegar a demorar entre 8 y 12 meses; pero con las nuevas técnicas se reduciría apenas a una semana, disminuyendo sensiblemente los costos y tiempos del proceso. Por otra parte, China y Corea están experimentando técnicas para extraer litio del mar, pese a que no es sencillo. Por último, un científico argentino, el Dr. Calvo, ya patentó una forma de producción de litio que no requeriría agua.



El mercado actual de automóviles eléctricos lentamente fue cobrando una fisonomía que proyecta ciertas cristalizaciones, sobre todo con respecto al litio. La automotriz Toyota Motor Corp. (de Japón) ha sido hasta ahora la empresa líder en la producción de automóviles eléctricos, controlando cerca de 80% de este mercado, el cual viene dominando desde 1997 cuando sacó su primer modelo eléctrico a la venta. A su vez, sus asociaciones con otras empresas japonesas de electrónica, como Panasonic y Sanyo, le han permitido también liderar la venta de baterías eléctricas para autos. Estas condiciones le han otorgado ventajas tecnológicas de vanguardia en el mercado, forzando a otras automotrices a ingresar a la era eléctrica bajo su licencia Hybrid Synergy Drive @ para poder producir en serie (tal fue el caso de Ford, Subaru, Mazda y Nissan).

Por su parte, General Motors lanzó el Chevrolet Volt en 2012, ocupando el segundo puesto en ventas de autos eléctricos, mientras que Nissan –en alianza con Renault- ya el 2015 preparaban el vehículo eléctrico Nissan Leafen. Del mismo modo, Volvo, Hyundai, Kia, Mercedes Benz, Seat y Tesla Motors también tienen proyectos de lanzar, pronto, sus modelos eléctricos (Ministerio de Economía, 2011: 41). Para el año 2025 se espera que los autos eléctricos ocupen el 20% de la industria automotriz⁴. Estos guarismos implicarán, según una estimación realizada por Signum Box, que la demanda de litio únicamente para la producción de autos sea –sólo en este ítem- de 60 y 180 mil toneladas para los años 2020 y 2025 respectivamente, teniendo en cuenta lo que demandarán los diferentes modelos de automóviles y la cantidad de ellos que saldrán a la venta⁵.

El mercado de acumulación de energía que permite el litio es muy importante, ya que de imponerse en el futuro las llamadas “energías limpias” (solar, hídrica, eólica, etc.) también será indispensable contar con fuentes de acumulación y almacenamiento para las mismas, donde la tecnología ligada al litio proyecta convertirse en la más eficiente al respecto, y su mercado se perfila tan amplio como el de las baterías de automóviles.

4 Existen diversas formas de hacer las estimaciones. Pueden verse tres formas de ello en CEDHA (2012: 22), FMC (2011: 9-12) y Ministerio de Economía (2011: 42).

5 Por ejemplo, la batería del Toyota Prius Plug-in requiere 3,6 kg de carbonato de litio, el Mitsubishi-iMiEV entre 10 y 15 kg, mientras que el Tesla Roadster demandará entre 40 y 50 kg por unidad.

Se proyectan tres escenarios posibles con respecto a la demanda total de litio: uno que sostenga la dinámica de aumento, creciendo entre 10 a 11% por año (tendencia base); un escenario optimista, con un crecimiento de 15% anual; y uno conservador, entre 5 y 6%. De este modo, bajo los tres escenarios presentados, el consumo de litio oscilará entre 400 a 600 mil toneladas para el año 2025. Es decir, el doble o el triple de lo que se demanda hoy, sin que represente un mercado de gran tamaño. Por su puesto, todas las proyecciones esbozadas son sólo estimaciones que no pueden predecir imprevistos financieros –como lo fue la crisis de 2008 que derrumbó el consumo- ni de ningún otro tipo. Sólo son ejercicios de acercamiento a escenarios posibles. Igualmente, según las diferentes miradas, indefectiblemente el consumo de litio aumentará, pudiendo generarse tanto nuevos conflictos como oportunidades con respecto a esto. Sin embargo, hacer mayores especulaciones con vistas a otras variables es más difícil todavía.



■ La OPEP del cono sur

El eslabón inicial de la cadena son las explotaciones de litio activas en el cono sur. Por ahora, el interés de Chile radica en exportar la materia prima en su estado primario, buscando controlar el precio y el mercado (son el principal exportador del mundo de carbonato seguidos por Australia y luego Argentina), y no muestra intención de realizar la batería y tampoco de construir una suerte de “OPEP del litio” u “OPROLI” (Organización de los Países Productores de Litio). Está más cerca del libre mercado que propicia la Alianza para el Pacífico que de perfiles protectores más comunes en el MERCOSUR (Lagos, 2009).

Sin embargo, la entrada fuerte en producción de Argentina y Australia, los escándalos de corrupción asociados a las empresas transnacionales ligadas a la extracción y la realidad de que al avanzar en la cadena de valor se obtienen los mayores beneficios han llevado a que se intente revisar el papel de mero productor de carbonato de litio. Seguidamente, lo que acontece en Bolivia es, por el contrario, bastante más interesante, puesto que el Gobierno ha decidido poseer un férreo control sobre la mitad de las reservas mundiales de litio en salmuera, hasta lograr confeccionar la batería. Para lograrlo, se encuentra investigando sus propios modos de extraer el litio, tarea que no le está resultando fácil, dado que es técnicamente más difícil que en los países vecinos por su menor concentración general y por las precipitaciones que retrasan la concentración por evaporación.

La planta piloto anunciada que produciría litio y potasio no entró aún en operaciones. El plan de negocios del litio en Bolivia supone un control del Estado en toda la cadena, sólo asociándose en la etapa de producción de baterías con empresas extranjeras⁶. Por último, en el caso argentino, desde 1998 se encuentra radicada FMC en la provincia de Catamarca, que exporta 17.000 toneladas anuales de carbonato de litio y el año 2014 entró en producción el Salar de Olaroz, propiedad de Orocobre y de la empresa estatal de las provincia de Jujuy JEMSE, que posee 8,5 por ciento de la explotación. En torno a la explotación de los salares, la Argentina se rige por el privatista “código de minería” y no duda en ponderar con buenos ojos la iniciativa de empresas extranjeras (al menos la provincia de Jujuy ha declarado al litio recurso natural estratégico).

6 La “Estrategia de industrialización de los recursos evaporíticos” boliviana incluye tres fases. En la primera, se esperaba una producción piloto de carbonato de litio y cloruro de potasio para fines de 2012; en la segunda se busca una producción industrial de compuestos químicos a partir de 2014; la última empezaría a fines de 2014 con la producción de cátodos, electrolitos y baterías de ion-litio. Véase: www.energetica.org.bo

No han sido pocas las voces que apuestan por constituir una “OPEP del Litio”, aprovechando la gran concentración del recurso que existe en Sudamérica, para así controlar su dinámica y precio. En principio, todo lo que contribuya a una mayor articulación entre los países del altiplano que poseen el recurso es, sin duda, bienvenido. Sin embargo, los intentos por construir una “OPEP del litio” sobre la base del triángulo andino que permita ejercer una presión para forzar la “transferencia tecnológica” o para tener un control del mercado del litio se topa con una serie de obstáculos. El Chile minero y neoliberal manifiesta poco interés en ello, de modo que seguirá exportando litio a quien le compre, dejando por tierra toda expectativa de constituir una suerte de oligopolio. Y Bolivia aún no entró en producción, pero tampoco expresa gran entusiasmo en una OPEP que le acerque a Chile, dada la histórica discordia que existe entre ambos a causa de la Guerra del Pacífico.

Por su parte, Toyota –un ejemplo entre miles– posee el 25 por ciento del Salar de Olaroz, y nada indica que el Gobierno argentino fuese a revertir ésta u otras tenencias. De todos modos, supongamos un escenario a futuro en el cual se consolide la industria de las baterías de litio y los países del cono sur decidiesen nacionalizar la materia prima y dar forma a una estrategia regional conjunta. Indudablemente, al ser los mayores productores del planeta en salmueras tendrán cierta capacidad de incidir sobre el valor del mercado de la materia prima. Sin embargo, el porcentaje y valor del litio dentro de la batería es menor, de modo que las empresas productoras de acumuladores de energía sólo procuran asegurarse su abastecimiento, más allá de lo que deban pagar por él, y pueden conseguirlo de muchas fuentes. A su vez, si el precio de la materia prima aumentase sustancialmente comenzarían a ser rentables otras explotaciones que aún hoy no lo son o lo son relativamente, y así el precio tendería a bajar.

El litio no está “desigualmente distribuido”, es posible obtenerlo en muchas partes del globo; ocupa el puesto 27 entre los más abundantes del planeta, hay más de 150 minerales que contienen litio, incluso se encuentra en el mar. El litio es un recurso estratégico, pero tampoco es el petróleo ni las tierras raras.

Actualmente, la Unión Europea ya no considera que peligre su abastecimiento de litio (GT ad hoc, s/d). En razón de lo expuesto, en términos geopolíticos, es indudable que todo lo que contribuya a niveles de mayor integración sudamericana será un buen augurio, pero la clave de la energía del litio para combatir el cambio ambiental global y generar un nuevo modelo de desarrollo no está solamente en el simple control de la materia prima, sino, ante todo, en avanzar en la fabricación de las baterías⁷.

Se debe realizar una apreciación sobre la muy singular relación que existe entre los diferentes actores a los que incumbe la faena extractiva. Al respecto, debe partirse de la evidencia de que los salares se encuentran en la Puna altiplánica, habitada por comunidades originarias asentadas hace milenios en la región. Sobre ellas se superpone la actividad de empresas transnacionales y de diversas jurisdicciones de los estados nacionales, en una muy compleja interacción entre Estado y sociedad.

La acción comunitaria frente a la conversión del litio en un “mineral estrella” codiciado por todos ha sido heterogénea. Tanto en Argentina como en Chile el “aterrizaje” de empresas multinacionales deparó respuestas medianamente receptivas a causa de los mínimos derrames locales que posibilita, como así también otras declaradamente hostiles. En efecto, a causa de los pasivos ambientales, el gran consumo de agua, la nula participación en la gestión y ganancias, y la competencia con otras actividades, como la cría de ganado o el turismo, particularmente fuerte en el Salar de Atacama chileno, las comunidades se han organizado para contrarrestar la visión puramente mercantilista del territorio (Bolados García, 2013).

⁷ Para una definición del litio como recurso natural estratégico y de la potencial “renta” de la materia prima véase Fornillo, 2015b.



Por ejemplo, las 33 comunidades agrupadas en Salinas Grandes, en Argentina, lograron detener todo intento por explotar el litio, gracias a una estrategia múltiple que en su faceta legal llegó hasta la Corte Interamericana de Derechos Humanos. En este sentido, se encuentran en tensión y superponen distintas ideas y narrativas sobre cómo concebir el territorio: si para las comunidades representa su hogar histórico, base de su reproducción económica y simbólica, para las empresas es un simple depósito de mineral. Asimismo, la mayoría de las veces los estados nacionales se ven inclinados hacia un tipo de gestión que privilegia la creación de las condiciones que favorezcan el “clima inversor”, teniendo por excepción el Estado Plurinacional de Bolivia, que ha decidido poseer un férreo control del mineral.

■ Geopolítica de la energía del litio en el Cono Sur

Si los problemas a los que se enfrenta una estrategia conjunta en el cono sur respecto a la comercialización del recurso no son menores, tampoco los son los que se yerguen sobre las chances de una industria del litio abocada a la fabricación de baterías. En términos generales, no existe en el planeta una batería de litio absolutamente probada que sea capaz de posibilitar una performance análoga a la que brindan los combustibles fósiles, al punto de que sea posible reemplazarlos sin más. Y esto debido a que las actuales tienen una potencia menor que la combustión fósil, una autonomía máxima discreta (entre 100 y 250 km), requiere un tiempo de carga holgado, son bastante grandes y pesadas, y corren el riesgo para nada inocuo de incendiarse. A causa de ello, los países centrales están destinando amplias sumas de capital a paliar estos defectos.

Realizar una batería de litio requiere de múltiples pasos, de los cuales la región apenas ha llevado adelante el más básico, y ni siquiera seguramente: contar con carbonato de litio, y en cierta medida ha llevado adelante el último. Más específicamente: de la nada a la batería existen, al menos, cuatro pasos básicos: 1) Contar con los elementos químicos, el litio entre ellos es estratégico, pero no el único; el cobalto lo es aún más⁸. 2) El procesamiento de esos químicos, lo que se podría llamar el pasaje del «carbonato de litio a los compuestos», esto es, contar con las sales, entre otros elementos químicos que se precisan para la emulsión que contiene la batería. 3) Producir los elementos «físicos» de las baterías, su «corazón». Se requiere, por ejemplo, realizar las celdas, lo cual demanda «insumos estratégicos» como los separadores,

⁸ Nótese que la Unión Europea realizó un documento acerca de lo que considera “Recursos Naturales Críticos”, midiendo su “criticidad” según su valor económico y su riesgo de suministro, y el litio posee un riesgo de 0,7 y el cobalto de 1,1 en un registro que va de 0 a 5, este alto nivel le corresponde en solitario a las “tierras raras” (GT ad hoc, 2010).

de muy difícil composición. 4) El ensamblado final de la batería⁹: En nuestra región hay las condiciones de llevar adelante en términos industriales el primero, relativamente, ya que, por ejemplo, no cuenta con cobalto; y el último, pero no los medulares y más difíciles¹⁰.

Pese a contar con la mayor cantidad de reservas probadas y económicamente rentables, Argentina, Bolivia y Chile tienen todavía un trayecto por recorrer para contribuir a una sociedad posfósil. En este sentido, es necesario brindar un panorama mínimo de las políticas públicas, particularmente las desplegadas en los tres países del cono sur en torno al pasaje del “litio a las baterías”, en tanto elemento regulador y transformador de procesos socioeconómicos. Chile no muestra interés en realizar baterías, es un país de tradición minera, y lo cierto es que no posee actualmente capacidad técnica de peso y prefiere comprarlas al bajo precio que le ofrece su mercado desregulado, amén de que no cuenta con una gran demanda. Así, su negativa a realizar una estrategia fuerte de agregado de valor es correlativa a las políticas neoliberales del país andino, concentrándose en tallar fuerte en el precio mundial del simple carbonato de litio. En este sentido, Chile lleva adelante una experiencia sencilla: ni proponerse un agregado de valor sustancial. Sin embargo, en el último tiempo empieza a advertir que esta estrategia debe convivir con otra dirigida a incentivar la agregación de valor y el mayor control estatal de la explotación litífera¹¹.

Bolivia sí se ha propuesto alcanzar la confección de acumuladores de energía. La estrategia de industrialización se ha inclinado cada vez más hacia la articulación con socios extranjeros, pero de manera errática. La asociación con la coreana Kores-Posco, el año 2012, parecía provechosa puesto que es una de las mayores empresas de producción de baterías y se mostraba dispuesta a realizar una importante transferencia tecnológica. Sin embargo, esta “sociedad” se encuentra en riesgo por un problema de patentes y diferencias respecto al control del recurso, motivo por el cual la empresa tendrá una presencia extractiva mayor en Argentina, particularmente en el Salar Cauchari-Olaroz. Mientras tanto, Bolivia ha comprado una planta piloto de confección de baterías a una empresa China –Linyi Gelon New Battery Materials Co- y realizado un convenio con Holanda que le proveerá formación y un laboratorio “llave en mano” para obtener acumuladores¹². El problema con el que se topan estos intentos reside en una suerte de “fetichismo de la fábrica”, debido a que no alcanza con ella sin el “entorno comercial” y el “entorno científico-técnico” en el que debe inscribirse para operar con eficacia. En suma, entre los desafíos a superar por parte del país andino-amazónico se encuentran la ausencia de capacidad técnica local, de suficiente capital, de mercado para las baterías, todo lo cual no desmerece el destino que se ha trazado: la alternativa contraria a ser mero productor de materias primas, proyecto que desde el lejano Potosí se ha probado sucesivas veces con resultados siempre evidentes. En este marco, todo lo que contribuya a la integración entre Argentina, Bolivia y Chile sería especialmente alentador.

9 Para una buena descripción de los elementos químicos y físicos que requiere el armado de una batería, véase: Andreotti, 2012

10 Ciertamente, de realizar los pasos críticos y nucleares de la batería (los puntos 2 y 3) se contaría con una batería producida en la región, pero para dar al menos uno de ellos se necesita a) Maquinaria muy sofisticada y capacidad técnica. b) Conocimiento científico y utilización, creación o “ingeniería reversa” de patentes, que los países centrales cuidan con celo. Un empresario chino le confesó a un científico argentino: “Nosotros nunca les vamos a dar las licencias para fabricar las baterías”. c) Claro está, se necesita capital para invertir –aunque la sumas no son astronómicas-. Empero, la realización del proceso no culmina con la obtención de la batería. Suponiendo que una buena ecuación pueda permitir fabricarla localmente, hay que venderla a un precio competitivo para un mercado dispuesto a adquirirlas. A su vez, dada la constante modificación de los patrones del mercado de acumuladores energéticos, es un requisito que todos los pasos anteriores se realicen de manera robusta para estar lindando siempre con la “frontera tecnológica”. De superar todos estos obstáculos se habría consolidado la industria de la producción de baterías en Sudamérica. Es evidente que los problemas no son menores, aunque eso no quita que sea, de lejos, el escenario más interesante.

11 Durante el año 2015 se formó una “Comisión Nacional del Litio”, que produjo un informe en el que recomendaba al Poder Ejecutivo que el Estado tenga una presencia mayor en las tenencias de litio, aun asociándose con empresas privadas, y que apunte las cadenas de valor. (Comisión Nacional del Litio, 2015).

12 El acuerdo establecido con Holanda supone que la Universidad Técnica de Delft capacitará a profesionales bolivianos que trabajarán en un laboratorio para el desarrollo de baterías; la empresa holandesa BTI -Energy Innovators- será la encargada de diseñar y construir la fábrica; el Da Vinci Laboratory Solutions apoyará en la organización del laboratorio; la consultora Boon coordinará los esfuerzos de los diferentes socios. Se menciona que Bolivia pagará 45 millones de dólares por el laboratorio, la fábrica y la asistencia técnica.

Por su parte, la industrialización del litio constituyó un objetivo importante del Estado nacional de Argentina. En torno al año 2011 se constituyó una comisión interministerial que ofició de articuladora entre una serie de científicos que se dedicaban a la investigación de las baterías de litio, una empresa interesada en producirlas (Pla-ka) y un mercado potencial en la provisión de baterías para el programa “conectar igualdad”, que distribuye computadoras en las escuelas medias del país. Lamentablemente, esta apuesta, que ha tenido múltiples vericuetos, no llegó a buen puerto, fundamentalmente porque no se logró abastecer a las empresas proveedoras de las computadoras¹³. Tras este traspie inicial entró en juego la empresa YPF-Tecnología, constituida por la petrolera recientemente nacionalizada YPF y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet). A esta nueva empresa, el conjunto de científicos que más saben de la producción de baterías han mudado sus investigaciones.

Sin embargo, más allá de los loables intentos del ala científica, aún se mantiene pendiente asumir una política de Estado planificada, coordinada, interdisciplinaria y consensuada que permita superar los obstáculos recurrentes con los que se han topado las tentativas existentes. En el despliegue de una política pública activa reside una clave central, porque en Argentina se cuenta con empresas de experiencia en el rubro del ensamblaje de baterías; “producción” de artefactos eléctricos demandantes de acumuladores (netbooks, celulares, etc.); rubros promisorios (baterías de litio para bicicletas, motos, autos); un entramado científico en funcionamiento; un área política que puede coligarse para alcanzar objetivos. En suma, existen ciertas condiciones estructurales de un entorno científico, económico y político que puede alojar las chances de realizar las baterías. Empero, la tentativa de un solo país, periférico como Argentina, muy probablemente no sea suficiente.

Por último, los países dominantes, así como sus empresas insignia, no poseen ningún interés en descentralizar procesos productivos, tecnología y conocimiento de punta. Sucede, en verdad, todo lo contrario, realizan grandes esfuerzos por impedir la pérdida de control de estos procesos productivos, ya que el grueso de las ganancias provienen actualmente de las “rentas de innovación”, es decir, de aquellas mercancías situadas en la frontera tecnológica que les permite “copiar” porciones de mercado (Miguez y Sztulwark 2012). ¿Pueden acaso calcularse las ganancias extraordinarias que depararía un auto eléctrico que fuese posible venderlo a un precio competitivo comparado con un auto regular? A raíz de esta situación, lo único que descentralizan es tecnología obsoleta o en vías de serlo. No es por la vía de la “seducción” a los gigantes globales que tendremos baterías, o partes de ella, en el sur. Aunque es posible que sea preciso realizar algún tipo de vinculación para “completar” un proceso local, y en este punto aparecen diversas opciones, aunque China se muestra como el país más receptivo. Igualmente, una cosa es una producción en manos de una empresa transnacional y otra un proceso tecnológico de fuerte raigambre local.

■ Conclusión: Necesidad de articulación científico-industrial sudamericana

El planeta está envuelto en un proceso de “transición” geopolítica y ecológica, donde la naturaleza se encuentra al servicio de un nuevo campo de acumulación y valorización financiera, bajo una extendida “privatización de recursos”. A su vez, el consumo acelerado e ininterrumpido de los recursos vitales de la tierra hace que su valor se acreciente día a día. Dada la entropía destructora y el tipo de metabolismo propio del capital, la existencia, explotación y el transporte de recursos naturales lentamente va dibujando una nueva “geografía de conflictos”. En este contexto, los países sudamericanos se ven presionados para reinstaurar el clásico intercambio interindustrial: son mercados de productos de alto valor agregado y

¹³ En el presente escrito hemos procurado exponer una serie de tesis centrales que incumben a la “cuestión litio” en Sudamérica. De interesarse por un despliegue más específico de la argumentaciones puede consultarse la obra colectiva producida por el Grupo de Estudios en Geopolítica y bienes naturales (IELAC-UBA): (Fornillo et al, 2015.)

tecnología mientras “exportan naturaleza”, clave en la externalización de los costos ambientales de los países centrales.

La “OPEP del litio” que conforman Argentina, Bolivia y Chile no encuentra su mayor sentido si permanece ligada al control de la extracción y la explotación, a las cuales quisieran condenarnos los países dominantes. Si definimos finamente el concepto de *recurso natural estratégico* hay que aceptar que el status del “oro blanco” es relativo o casi nulo.

Ciertamente, más que hablar de la “Arabia saudita”, de la “OPEP” (o “Opproli”), imágenes que no dejan de remitir a la presencia de la materia prima en el altiplano, creemos que es preciso hablar del “litio en Sudamérica”. En el mejor de los casos, cada país hace sus mejores intentos, por ejemplo Argentina podría llegar a fabricar baterías de litio, pero el mercado local no es muy amplio y le sería muy difícil competir a nivel internacional. Potencialmente, a la hora de pensar en la posibilidad de generar un entramado mercantil que soporte la demanda de baterías y un entorno científico-técnico que acompañe, sería deseable trazar una estrategia regional que incluya a Brasil, enarbolando una política pública de carácter subcontinental. Aunque este escenario es a largo plazo, por esta vía es posible pensar en un mercado potencial de baterías suficientemente amplio, en más estados con más recursos, en una plataforma industrial exportadora todavía fuerte, en la chance de dividir y acoplar procesos de fabricación, en suma, existiría la chance de pensar en una economía de escala en la fabricación que permita insertarse en el mercado mundial.



Al igual que en otros rubros, la integración sudamericana se presenta como una de las vías más dignas que pueden encararse. A su vez, es aquí desde donde pensar un entramado industrial del litio lo suficientemente robusto como para hacer frente a la producción estadounidense, o a la mucho más pujante del sudeste asiático (en Asia se encuentran los centros de innovación, la mayor producción de baterías, gigantes empresas automotrices). No es un intento menor, por un lado, no es fácil; pero por el otro su centralidad reside en que los acumuladores de litio al día de hoy están destinados a ser claves en el futuro energético del planeta, tanto para los autos eléctricos como para los sistemas de almacenamiento posfósil.

Es gracias a las baterías de litio que se abre la posibilidad de participar en el patrón tecnológico naciente del sector energético sustentable y de un mercado potencial muy significativo. La oportunidad no es menor: se trata de combatir el cambio climático, contribuir a modelos creativos de desarrollo y ganar en soberanía económica y política. El litio es apenas un prisma a través del cual se puede vislumbrar un modo posible de realizar una transición hacia un modelo económico y social alternativo. Es preciso —tal como sostiene Koldo Unceta— desechar los axiomas del “crecimiento” soportados en el aumento del PIB para adoptar un enfoque de poscrecimiento que valore las actividades humanas en relación a su contribución al bienestar (Unceta, 2014). Una lógica de poscrecimiento comporta una estrategia de desmercantilización (reducir la esfera del mercado), desmaterialización (menor flujo de energía y materiales) y de descentralización (disminución y descentralización de la escala productiva), y la “energía del litio”, bien conducida políticamente, puede contribuir a ella.

■ Bibliografía

AIE 2011: Green growth studies: Energy (OECD).

Andreotti, J. 2012: "Entendiendo el tema del litio en Argentina". Disponible en: www.ingenieroandreotti.blogspot.com.ar

Bolados García, Paola 2013: "Procesos transnacionales en el salar de Atacama-norte de Chile. Los impactos de la minería y el turismo en las comunidades indígenas atacameñas" en Intersecciones en Antropología (Olavarría: UNCPBA) Vol. 15, Número 2.

CEDHA 2012: El nuevo horizonte minero. Dintensiones sociales, económicas y ambientales (Córdoba).

COCHILCO 2009: Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Litio.

Dirección de Estudios y políticas públicas (Santiago de Chile: Comisión Chilena del Cobre).

Comisión Nacional del Litio 2015: Litio, una fuente de energía. Una oportunidad para Chile. Informe final (Chile: Ministerio de Minería) Disponible en: www.minmineria.cl

FMC 2011: Lithium Market Review (Santiago de Chile).

Fornillo, Bruno (coord) 2015: Geopolítica del litio. Industria, ciencia y energía en Argentina (Buenos Aires: El Colectivo-CLACSO) Disponible en: www.clacso.org.ar

Fornillo, Bruno 2015a: "¿Nueva energía Argentina? Política, ciencia e industria del litio" en Ciencia, Docencia y Tecnología (Argentina: Universidad Nacional de Entre Ríos) Vol. 26, NO 51 Disponible en: www.revistacdyt.uner.edu.ar

Fornillo, Bruno 2015b: "El Mito del litio y el Modelo de Desarrollo" en Realidad Económica (Buenos Aires: IADE) Número 295. Disponible en www.iade.org.ar

Grupo de Trabajo ad-hoc, subgrupo del grupo Suministro de Materias Primas de la Comisión Europea 2010, Materias primas críticas para la Unión Europea. Disponible en: www.ec.europa.eu

Grupo de Trabajo ad-hoc, subgrupo del grupo Suministro de Materias Primas de la Comisión Europea (S/D), Report on critical raw materials for the EU. Non-critical raw materials profiles. Disponible en: www.ec.europa.eu

Klare, Michael 2008: Rising powers. Shrinkingplanet. The new geopolitics of energy, (EEUU: Metropolitan books).

Miguez P. y Sztulwark, S. 2012: "Conocimiento y valorización en el nuevo capitalismo", en Realidad Económica (Buenos Aires: IADE), número 270.

Ministerio de Economía de Argentina 2011: Complejo minero: litio. Disponible en: www.mecon.gob.ar

Muscatelli, Natalia 2010: "Litio, nuevo imán de inversiones para automotrices y mineras", Clarín, suplemento económico, Buenos Aires, 21 de marzo.

S/D 2014: "Bolivia inaugura su primera planta piloto de baterías de litio", en El Deber, 17 de febrero.

Servín, Sergio 2012: Argentina Y los desafíos del escenario energético global (Argentina: ISEN).

Sevares, Julio y Krzemien, Juan 2012: "El litio en la Argentina: oportunidades y desafíos de un recurso estratégico", en Realidad Económica (Argentina: IADE) Nº 272.

Signum Box 2012: Perspectivas globales del litio (Santiago de Chile: Providencia).

Unceta Koldo 2014: "Poscrecimiento, desmercantilización y 'buen vivir'", en Nueva Sociedad (Buenos Aires: Friedrich Ebert Stiftung), Nº 252. Disponible en: www.nuso.org



La industrialización del litio y potasio en Bolivia

Juan Carlos Montenegro Bravo

Docente investigador - Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales
Universidad Mayor de San Andrés

Este artículo pretende contribuir a un acercamiento de mayor precisión sobre la naturaleza, dimensión, logros, limitaciones, alcances y perspectivas del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos del salar de Uyuni a cargo del Estado boliviano, el cual fue iniciado el año 2008, desde sus etapas de exploración, investigación, pilotaje y diseño de la ingeniería de industrialización del litio y el potasio, principalmente.

■ El proyecto boliviano y su naturaleza estatal

Con excepción de Bolivia, el denominado “triángulo del litio” –constituido por los salares de Bolivia, Chile y Argentina– está bajo el dominio y explotación por parte de varias empresas transnacionales desde hace más de dos décadas.

El salar de Atacama en Chile es explotado por las empresas SQM y Rockwood Lithium, y en Argentina explotan sus salares las empresas FMC, Orocobre y Sentient Group.

Los antecedentes de la presencia y dominio de estas transnacionales tienen que ver con el hecho de que a fines del siglo XX y principios del XXI se impuso y desarrolló en Latinoamérica el modelo económico neoliberal de reducción del rol y dimensión del Estado, de privatización de las empresas públicas, de los servicios básicos, de la salud y de la estructuración de sistemas gubernamentales y legislaciones al servicio del capital financiero para promover la inversión extranjera en la explotación de los recursos naturales.

Esto sucedió también con los recursos evaporíticos del salar de Atacama en Chile y los salares de Olaroz, Hombre Muerto, Grandes Salinas y el salar del Rincón en Argentina. En estos países, las empresas transnacionales SQM y Chemetall en Chile y FMC en Argentina fueron las primeras que consolidaron su presencia y dominio hasta hoy. Sin embargo, ello no sucedió en Bolivia, pues el intento de la norteamericana Lithco (1989–1993) de adjudicarse y explotar el salar de Uyuni no prosperó por el rechazo y movilización popular de entonces.

El caso boliviano es único en el continente, pues es el Estado el que toma a su cargo, por prerrogativa constitucional, el mandato de llevar adelante la industrialización del litio por considerarlo, junto al potasio, un recurso de carácter estratégico para el país y para el cambio de la matriz energética mundial.

La nueva visión de Estado que se propuso recuperar para sí los recursos naturales, recuperar o mejorar la renta petrolera, la renta minera e impulsar proyectos de industrialización que generen mayor valor agregado a las materias primas, tiene su origen el año 2006, cuando se produjo el ascenso al poder de un nuevo bloque social, de origen esencialmente indígena campesino.

En este contexto debe comprenderse el hecho de que el Estado boliviano, a instancias de la presión de organizaciones campesinas, haya prestado especial atención en los recursos estratégicos que almacenan los salares bolivianos asumiendo la decisión de llevar a cabo su explotación y transformación a cargo de la Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL), sin la participación de empresas transnacionales. No es casual, entonces, el hecho de que la Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Sudoeste Potosino (FRUTCAS), el año 2007, presentara al Gobierno una propuesta de industrialización 100% estatal de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni, la cual se ha constituido en la base esencial del actual proyecto estatal de industrialización de estos recursos.

Debe señalarse también que en ese período han sido varias las empresas transnacionales que insistentemente intentaron, sin éxito, tener presencia directa en la explotación del salar de Uyuni, pues desde el año 2007 las empresas Sumitomo, Mitsubishi, Bolloré, Vale, Kores y otras gestionaron y presionaron a través de todos los resquicios gubernamentales para controlar o tener participación directa en la explotación de la reserva de litio más grande del planeta que se encuentra en este salar.

Para llevar adelante este emprendimiento, las instancias gubernamentales adoptaron el plan denominado Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia, que contempla desarrollar investigación, pilotaje, producción industrial de litio, potasio, materiales catódicos y baterías de ión litio. La ejecución de este plan de industrialización ha sido encomendada a la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE).

La dimensión del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos, y del litio en particular, es el más grande que actualmente tiene el sector minero metalúrgico del país. La inversión que representa el proyecto de industrialización del litio y otros derivados en Bolivia bordea el orden de los 1.000 millones de dólares, con la particularidad de que se trata de una inversión 100% estatal¹ y se constituye en el proyecto minero industrial más grande del sector.

¹ La Ley Financial del Presupuesto del Estado de la gestión 2011 y de la gestión 2012 aprobaron un total de aproximadamente 900 millones de dólares para financiar el proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos, mediante crédito a ser otorgado por el Banco Central de Bolivia. Por su parte, la Corporación Minera de Bolivia dispuso 19,5 millones de dólares con recursos propios para la fase piloto del proyecto.

■ El salar de Uyuni, fuente de recursos estratégicos

El salar de Uyuni es considerado estratégico por el Gobierno de Bolivia, al constituirse en la reserva más grande de litio del mundo y la tercera de potasio, después de Rusia.

La primera estimación de reservas del salar de Uyuni fue reportada en 1981 por la ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Gutre-Mer)² de Francia, mediante la publicación del estudio “Los Salares del Altiplano Boliviano, Métodos de Estudio y Estimación Económica”³, estableciendo la cantidad de 5,5 millones de toneladas métricas de litio equivalente⁴, 110 millones de toneladas métricas de potasio y 3,2 millones de toneladas métricas de boro.

Estas cifras se han manejado oficialmente como las reservas existentes en todo el salar de Uyuni en varias publicaciones durante más de 25 años, aunque posteriormente fueron ajustadas a 9 millones de toneladas de litio equivalente.



En 1981 se calculó que las reservas en el Salar de Uyuni alcanzarían a 9 millones de toneladas de litio equivalente.

Las consideraciones geométricas empleadas por la ORSTOM en este primer estudio de estimación de reservas de 1981⁵ fueron asemejadas a un cilindro de superficie basal de 9.000 km² por una altura de 0,005 km (5 metros).

A partir de ello y de estudios de porosidad y volumen de los estratos de sal a la profundidad de cinco metros, el volumen de salmuera considerada fue de 13,5 Km³ para el cálculo de estimación de reservas del salar de Uyuni, considerando las concentraciones de litio, potasio y boro determinadas por análisis químico y convertidas a toneladas por metro cúbico.

La pequeña profundidad considerada en ese primer estudio se ha debido principalmente a las limitaciones del alcance de las perforaciones para el análisis químico de las muestras extraídas, pues gran parte de estas perforaciones (que han permitido, además, establecer las primeras iso-concentraciones del salar), han alcanzado solamente los cinco metros.

En octubre de 1987, investigadores de la ORSTOM y la UMSA reportaron los resultados de sus últimos estudios realizando una nueva estimación de las reservas del salar de Uyuni a la cantidad de 9 millones de toneladas métricas de litio equivalente, 6 millones de toneladas de boro y 150 millones de toneladas de potasio⁶. Esta nueva cifra de 9 millones de toneladas ha sido posteriormente refrendada por la USGS (United States Geological Survey) y a partir de 2010 se la maneja en algunas publicaciones.

Entre los años 2009 y 2010, la GNRE ha realizado en el salar de Uyuni más de 200 perforaciones y pruebas de bombeo con profundidades entre 20 a 50 metros y muestreos sistemáticos para análisis químico, que superan varias decenas de miles.

2 Los primeros estudios más completos e importantes de los salares del altiplano boliviano, y del salar de Uyuni en particular, se iniciaron el año 1975 como parte de un programa de convenio entre la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la ORSTOM de Francia, liderado por el investigador Francois Risacher.

3 Risacher, F. Ballivián, O.

4 La relación de equivalencia establece que 1 TM de litio equivalente (LE) es igual a 5,28 TM de carbonato de litio equivalente (LCE).

5 Ibídem. Págs. 117 – 123.

6 Ciencia, Revista Universitaria de Investigación Científica, año 1, N° 1. UMSA, 1988.

Con base en los resultados obtenidos de ese trabajo y en anteriores estudios reportados por Risacher y tomando en cuenta la perforación más profunda hasta ahora alcanzada (realizada por investigadores de la Universidad de Duke que llegaron hasta 220 metros de profundidad), la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos ha reportado, preliminarmente, una nueva estimación de reservas, mucho mayor que la primera, debido a que las perforaciones alcanzadas y consideradas han sido más profundas y, por tanto, la masa en volumen de salmuera estudiada ha sido mucho mayor. La nueva cantidad preliminar reportada de reservas estimadas alcanza al menos a 100 millones de toneladas de litio equivalente y de 2.000 millones de toneladas de potasio. Sin embargo, aún continúan los trabajos de exploración y cuantificación.

Estas cifras, incluso considerando sólo los 9 millones de toneladas de litio equivalente, son muy significativas, porque sitúan a Bolivia como un país estratégico en lo referente a la cantidad de reservas de litio y potasio. Las reservas de litio en el salar de Atacama ascienden a 7 millones de toneladas⁷.

En cuanto al potasio, las mayores reservas del mundo se encuentran en Canadá, con 4.400 millones de toneladas, y Rusia con 3.300 millones de toneladas⁸. Por ello, Bolivia estaría situada en el tercer lugar en cuanto a las reservas mundiales de potasio.

Con este nivel de reservas, Bolivia contribuye para asegurar al mundo la viabilidad para apostar por el litio en la producción masiva de acumuladores de energía eléctrica (baterías de ión litio) para motores eléctricos sustitutivos a los motores de combustión interna y para aplicaciones en el campo de las energías alternativas, como la acumulación y distribución de energía eléctrica generada por sistemas eólicos y solares.

■ El mercado internacional del litio

En los últimos ocho años, la demanda de litio en el mercado mundial ha tenido, en promedio, un crecimiento anual de 7 a 9%⁹, y el promedio proyectado del periodo 2010 a 2025 alcanzaría a 10,4% de crecimiento anual¹⁰.

De acuerdo con estas proyecciones, para el año 2020 la demanda anual sería de aproximadamente 55.000 toneladas métricas de litio equivalente (TM LE), lo que representa unas 290.000 toneladas métricas de carbonato de litio equivalente (TM LCE). Del mismo modo, el estudio de la Signum Box establece que la demanda para el año 2025 sería de 89.000 TM LE, es decir 470.000 TM de carbonato de litio.

Como puede observarse en la Figura 1, la actual demanda de carbonato de litio para el 2016 alcanzaría aproximadamente a 200.000 TM, lo que parece confirmarse en la actualidad.

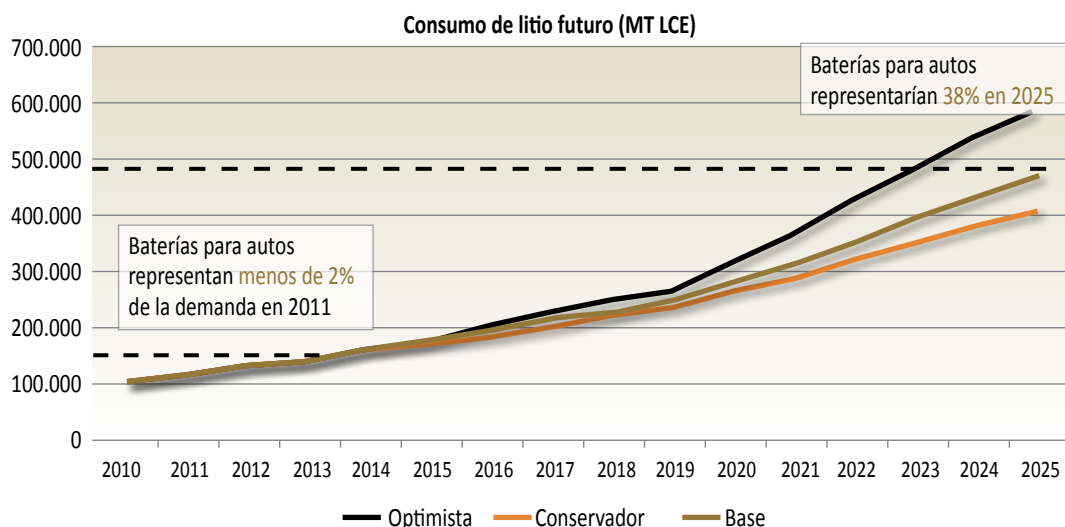
7 Cochilco, 2008

8 Memoria 2012, GNRE.

9 Industrial Minerals and Metal Bulletin Research, a five year strategic Outlook for the lithium industry, 2009.

10 Desormeaux, Daniela. Signum Box, Litio - Demanda Actual, Potencial y Proyecciones. 2013.

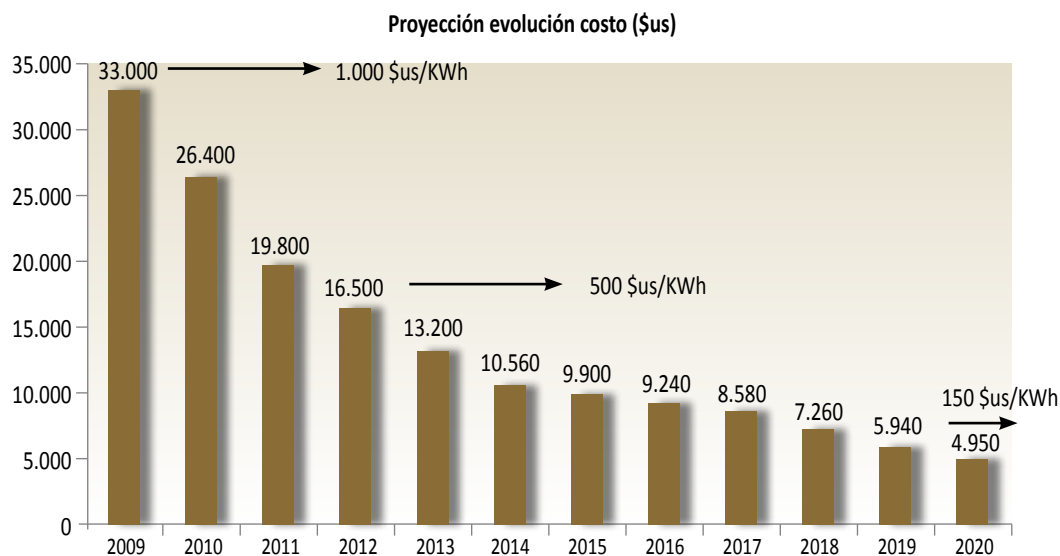
FIGURA 1
Consumo futuro de carbonato de litio en toneladas métricas



Fuente: Litio - Demanda actual, potencial y proyecciones. Signum Box, 2012.

En esta proyección del mercado (Figura 1) se observa un salto positivo en la pendiente a partir de fines de 2019, lo que es coincidente con otros estudios que establecen que a partir del 2020 la demanda de carbonato de litio destinado a los acumuladores de energía, de manera especial del sector de baterías para automóviles, tendrá un crecimiento más acelerado que el actual. Esto se debe a consideraciones tales como el acelerado desarrollo tecnológico que permitirá una significativa disminución del costo de la fabricación de baterías que impulsará su empleo masivo y por otro lado, la tendencia del aumento del precio del petróleo y sus derivados.

FIGURA 2
Evolución del costo de una batería ión litio de 33 KW/h para vehículo eléctrico

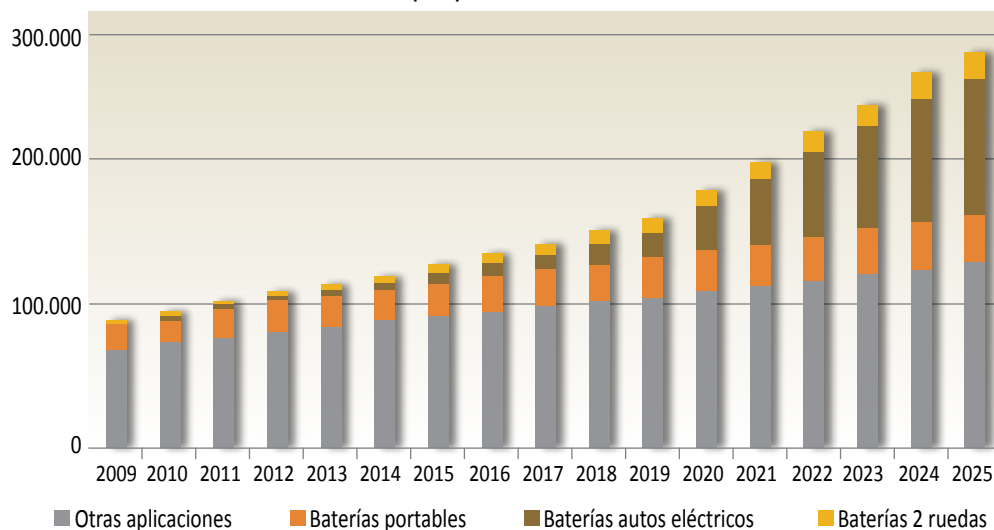


Fuente: Litio - Demanda actual, potencial y proyecciones. Desormeaux, Daniela. Signum Box, 2012.

De acuerdo con el estudio de Signum Box (Figura 2), el costo de una batería de ión litio, con una capacidad de 33 Kwh, que el año 2009 alcanzaba a 33.000 dólares, se proyecta que para el 2020 costará unos 5.000 dólares, lo que representaría una reducción de aproximadamente 600% y sería uno de los factores determinantes para la masificación del uso de baterías de ión litio correspondiente a una mayor cantidad de fabricación de vehículos EV, HEV y P-HEV.

La proyección de la demanda del carbonato de litio, hasta el año 2025, se presenta en la Figura 3.

FIGURA 3
Proyección de la demanda de carbonato de litio
(Ton.) Escenario base



Fuente: Litio - Demanda actual, potencial y proyecciones. Desormeaux, Daniela. Signum Box, 2012.

En cuanto a la evolución del precio del carbonato de litio puede decirse que ha tenido tres periodos:

Un periodo comprendido entre 1990 - 1996 con un precio estable de 3.000 \$us/ton y un mercado controlado principalmente por la empresa Chemetall asentada en el Salar de Atacama y en Silver Peak.

Un segundo periodo se caracteriza por la caída del precio hasta 1.800 \$us/ton debido al ingreso al mercado de la SQM el año 1996¹¹. Este segundo periodo (1996 – 2004), mantiene un precio casi estable de 2.000 a 2.500 \$us/ton.

Un tercer periodo se inicia el año 2005, año en que se produce una significativa demanda de carbonato de litio para su empleo en baterías recargables, además de otros factores, que provocaron un pico del precio del carbonato de litio a fines de 2008, alcanzando superar los 6.000 dólares la tonelada. Este periodo se extiende aún hasta el 2014 con un precio estable entre 5.000 y 5.500 dólares la tonelada de carbonato de litio.

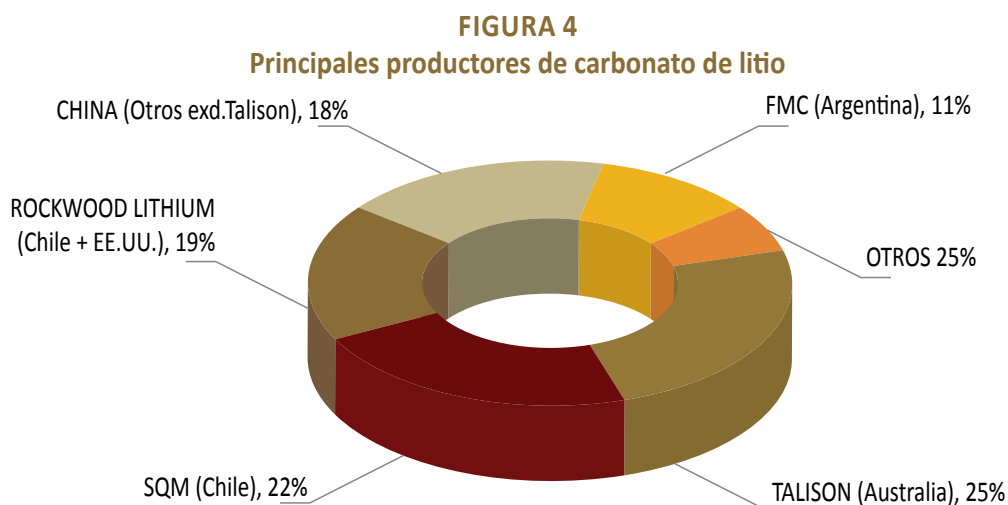
Podría decirse que a partir de fines del año 2015 y principios de 2016 se inicia un cuarto periodo, pues el precio del carbonato de litio tuvo gran salto que alcanzó los 13.000 dólares la tonelada y hasta mediados de 2016 se estabilizaría entre 7.000 y 9.000 dólares. Es siempre posible que puedan presentarse fuertes subidas coyunturales de precio, pero dentro de una tendencia más conservadora. Se estima que el promedio

11 Memoria Anual 2012, SQM. http://ir.sqm.com/files/doc_financials/annual_report_spanish/SQM_Corporativa_2012_v001_a734e5.pdf

del precio de la tonelada de carbonato de litio hasta fines de 2016 era de \$us 7.500, aproximadamente, y se proyecta un incremento de la demanda de las actuales 200.000 TM/año a 300.000 para el año 2020 en adelante, según Citigroup Inc.

Se esperaría que hasta el año 2020 esa relativa estabilidad se mantenga, pues existen varias estimaciones que el mercado estará bien abastecido hasta pasado el 2020¹² por la generación de varios proyectos productivos en el mundo. Los productores actuales y los futuros realizan ampliaciones en su capacidad productiva y se encuentran en ejecución nuevas plantas productoras, como es el caso de Bolivia y otros. Como en todo mercado, la oferta busca equilibrarse con la demanda.

La oferta mundial de carbonato de litio está concentrada y controlada por las empresas presentadas en la Figura 4.



Fuente: Signum-Box, citado en Memoria 2015, GNRE.

La incorporación reciente de la empresa Talison Lithium Limited con una producción de aproximadamente 30.000 TM de carbonato de litio obtenido de rocas evaporíticas, está siendo impulsada por la demanda y participación accionaria de la empresa china Chengdu Tianqi Industry Group, misma que tiene planes de convertirse en el mediano plazo en la mayor productora de litio en el mundo.

■ EL MERCADO INTERNACIONAL DEL POTASIO

El potasio se produce y comercializa como cloruro de potasio (KCl), también denominado muriato de potasio o MOP; como picromerita ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$), denominado SOPM; como sulfato de potasio (K_2SO_4) o SOP y como nitrato de potasio (KNO_3) o salitre.

De todos estos productos, el cloruro de potasio es el fertilizante de mayor demanda y contiene un promedio de 61% de K_2O equivalente.

Casi 95% del potasio producido en el mundo es utilizado por la industria de fertilizantes destinados a la agricultura, ya sea directamente como cloruro de potasio o mezclado con otros nutrientes esenciales, como nitrógeno y fósforo.

¹² Desarrollo del litio en Chile. COCHILCO, Ministerio de Minería.

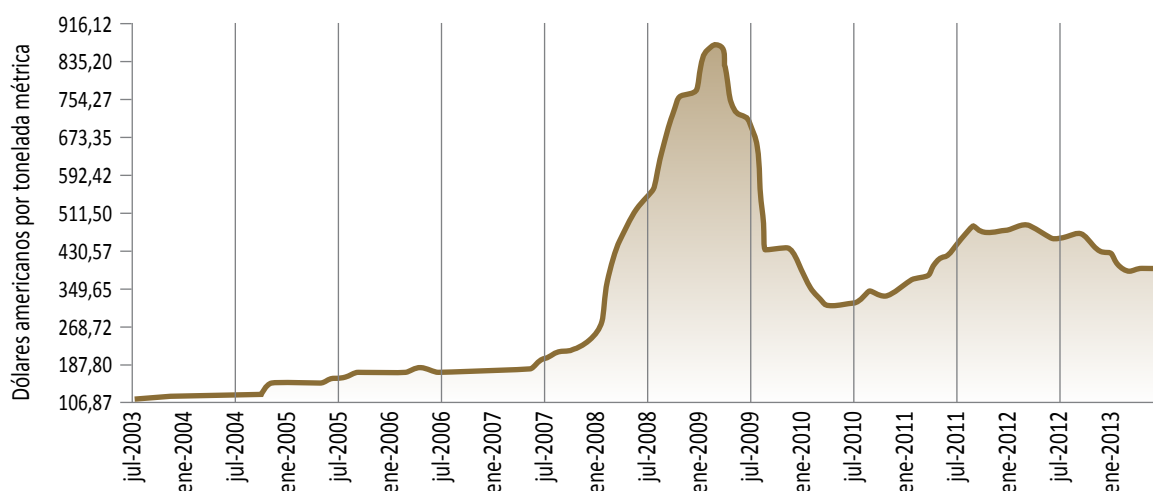
TABLA 3
Comportamiento del precio internacional del cloruro de potasio

MES	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	354,38	367,50	476,25	395,00	323,00	305,20
Febrero	335,00	375,00	483,00	387,50	309,50	305,00
Marzo	312,50	380,00	480,00	390,00	309,50	305,00
Abril	314,38	413,75	468,75	391,50	287,00	307,00
Mayo	315,00	418,33	457,50	393,00	287,00	307,00
Junio	319,00	436,00	457,50	392,50	287,00	307,00
Julio	320,00	461,25	462,50	392,50	287,00	305,00
Agosto	345,00	482,50	467,50	393,25	287,00	303,00
Septiembre	337,50	470,00	467,25	389,50	287,00	300,00
Octubre	335,00	470,00	440,20	358,70	287,00	300,00
Noviembre	340,63	474,00	425,00	334,00	305,50	
Diciembre	354,00	475,00	425,00	332,00	305,63	
PROMEDIO AÑO	331,87	435,28	458,95	379,12	296,84	304,42

Fuente: Memoria 2015, GNRE.

La Tabla 3 muestra que a 2015, el precio internacional del cloruro de potasio se mantuvo alrededor de 300 dólares la tonelada. La evolución del precio del KCl en el periodo 2003–2013 puede observarse en la Figura 5.

FIGURA 5
Evolución del precio internacional del cloruro de potasio



Fuente: IndexMundi.

<http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=cloruro-de-potasio&meses=120>

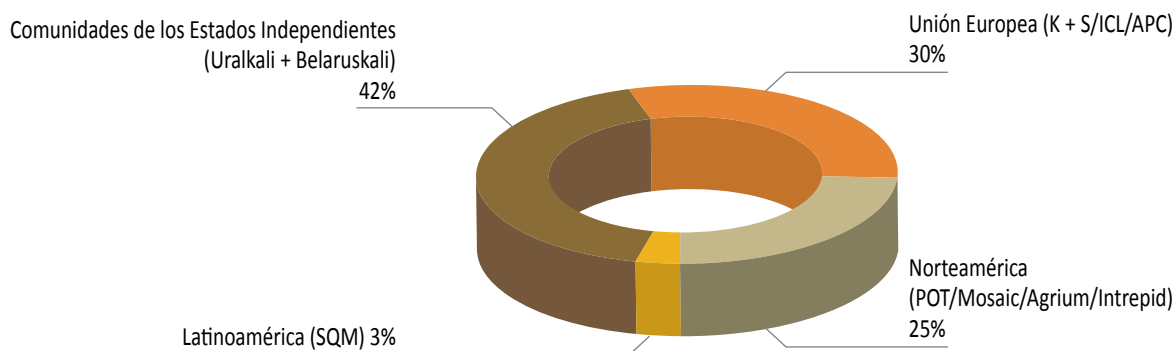
Las primeras 250 toneladas de cloruro de potasio producidas en la Planta Piloto KCl del salar de Uyuni fueron vendidas en junio de 2013 por un monto de 480 dólares la tonelada métrica¹³. Hasta fines del año 2015 la GNRE vendió un total de 1.100 toneladas de cloruro de potasio para el mercado interno. La demanda actual de la agricultura boliviana es aún pequeña, pues la demanda interna anual es de aproximadamente 600 TM.

¹³ <http://www.hoybolivia.com/Noticia.php?IdNoticia=84201>

El hecho que la Planta Piloto de KCl pueda vender su producción es un factor significativo y se convierte en un plus adicional, ya que una producción piloto por definición no tiene por finalidad la comercialización, sino ajustar y optimizar procesos en desarrollo. La venta de la producción piloto es un mérito importante, pues demuestra que el proceso tecnológico de producción empleado ha sido exitoso y validado.

Las principales empresas productoras del mercado de potasio y su participación en porcentaje, según la Signum-Box, se observan en la Figura 6.

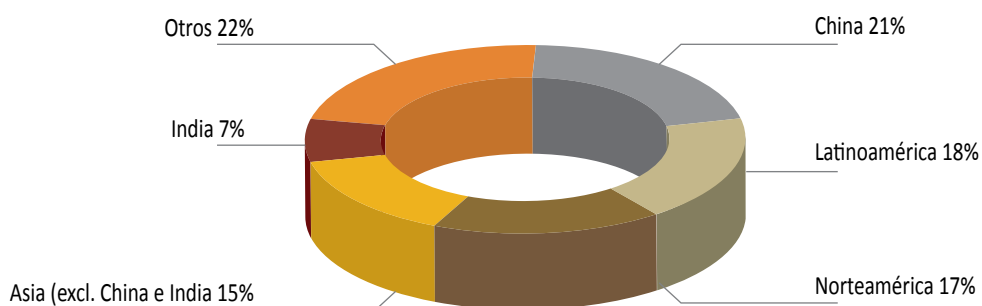
FIGURA 6
Principales productores de potasio al año 2012



Fuente: Signum-BOX Inteligencia de Mercados, Bloomberg, Departamento de estudios Morgan Stanley.

Según el mismo estudio, los principales países consumidores de potasio se muestran en la Figura 7.

FIGURA 7
Principales consumidores de potasio al año 2013



Fuente: Signum-BOX Inteligencia de Mercados, Bloomberg, Departamento de estudios Morgan Stanley.

Con relación al precio internacional del cloruro de potasio, el del sulfato de potasio es mayor, como se puede observar en la Tabla 4.

TABLA 4
Comportamiento del precio internacional del sulfato de potasio

mes	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	1.080,94	987,35	1.026,09	942,22	1.277,16
Febrero	1.122,70	1.028,06	1.026,80	946,95	1.271,61
Marzo	1.122,70	1.028,06	1.026,80	946,95	1.271,61
Abril	1.144,77	1.004,12	1.027,24	946,56	1.029,00
Mayo	1.092,51	981,71	992,74	985,10	1.061,55
Junio	1.088,60	965,13	956,47	1.159,23	1.031,73
Julio	1.103,81	971,68	956,47	1.148,53	999,78
Agosto	1.071,15	1.014,57	942,27	1.107,20	988,20
Septiembre	1.046,12	1.027,43	957,25	s/i	1.001,84
Octubre	988,78	1.039,21	986,40	1.344,11	1.011,22
Noviembre	995,20	1.027,95	951,37	1.338,49	s/i
Diciembre	978,40	1.016,49	955,71	1.293,81	s/i
PROMEDIO	1.069,82	1.005,76	983,78	1.103,84	1.093,39

Fuente: Memoria 2015, GNRE

En Latinoamérica se destaca Brasil como el principal consumidor de fertilizantes potásicos. Ocupa el tercer lugar en la demanda y consumo del potasio producido en el mundo con aproximadamente 7 millones de toneladas/año y satisface solo 10% de sus necesidades nacionales mediante producción local. Este es un mercado cercano y estratégico para la producción de sales de potasio en Bolivia en volúmenes significativos.

La empresa SQM en Chile es un importante productor latinoamericano de potasio; sin embargo, sólo representa 3% de la producción mundial y no satisface ni atiende a la demanda brasilera. Los principales productores mundiales son Rusia, Bielorrusia y Canadá, que generan más de 65% de la producción mundial.

Debe destacarse que la demanda latinoamericana de fertilizantes potásicos es satisfecha mediante importaciones desde Rusia, Bielorrusia, Canadá e Israel. Es evidente la necesidad de que surjan productores masivos de potasio en esta región y Bolivia está llamada a jugar ese rol a partir de la producción del potasio de los salares de Uyuni y Coipasa (sulfato de potasio), en volúmenes todavía mayores a los proyectados por la GNRE.

En los últimos 50 años, el consumo de potasio ha crecido en 400%, debido principalmente a una mayor y creciente producción mundial de alimentos. Entre 1960 y 2000, el uso mundial de fertilizantes potásicos aumentó de 9 a 22 millones de toneladas de K₂O equivalente y el 2011 la producción mundial alcanzó a más de 37 millones de toneladas¹⁴, y según la SQM, la demanda el 2012 fue de 50 millones de toneladas métricas¹⁵.

Aunque el precio del cloruro de potasio es menor que el de carbonato de litio, es también una oportunidad económica excepcional para los planes de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia. En el corto y mediano plazo este rubro podría generar mayores ingresos que los provenientes por el litio, debido a la dimensión de la demanda de potasio y la posibilidad de producirlo en grandes volúmenes.

¹⁴ Memoria Anual 2012, GNRE.

¹⁵ Memoria Anual 2012, SQM.

Una producción anual de un millón de toneladas métricas de KCl generaría un ingreso bruto por ventas de aproximadamente 450 millones de dólares/año, frente a los 165 millones de dólares que generaría la venta de 30.000 toneladas de carbonato de litio.

Según datos reportados por Signum-Box, el año 2012, el mercado mundial de carbonato de litio generó por ventas cerca a 700 millones de dólares y el de potasio aproximadamente 20.000 millones de dólares¹⁶.

En cuanto a las reservas mundiales de potasio, el salar de Uyuni tendría alrededor de 2.000 millones de TM, ubicándose como la tercera reserva del mundo, después de Canadá y Rusia, los dos más grandes productores mundiales de potasio, como se observa en la tabla 5.

TABLA 5
Producción y reservas mundiales de potasio

País	Producción		Reservas exploradas
	2010	2011	
Canadá	9.788	11.200	4.400.000
Rusia	6.280	7.400	3.300.000
Bielorrusia	5.250	5.500	750.000
Alemania	3.000	3.300	150.000
China	3.200	3.200	210.000
Israel	1.960	2.000	40.000
Jordania	1.200	1.400	40.000
EE.UU.	930	1.100	130.000
Chile	800	800	130.000
Reino Unido	427	430	22.000
España	415	420	20.000
Brasil	453	400	300.000
Otros países			50.000
Totales	33.703	37.150	9.542.000

Fuente: Memoria 2012 GNRE, con base en USGS – MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2012.

Por las consideraciones expuestas, naturalmente el potasio es también considerado altamente estratégico para el desarrollo industrial y económico de Bolivia.

■ Industrialización del litio y potasio desde el estado

Desde que en la década de los años setenta se iniciaron las primeras investigaciones en torno a los recursos minerales existentes en el salar de Uyuni y otros salares bolivianos han transcurrido más de 40 años y recién a partir del año 2008 se inicia un proceso orientado a la industrialización de estos recursos, mediante el impulso y participación del Estado.

Estas más de cuatro décadas encierran una larga historia que podría resumirse en los siguientes cuatro hitos fundamentales:

Un primer hito histórico constituye el periodo 1975–1982, en el cual se iniciaron y desarrollaron los primeros y fundamentales estudios de los salares del altiplano boliviano¹⁷.

¹⁶ Signum-BOX Inteligencia de Mercados, Bloomberg, Departamento de Estudios Morgan Stanley.

¹⁷ En abril de 1974 se firmó el convenio de cooperación Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la Office de la Recherche Scientifique Technique

El segundo hito histórico constituye el periodo 1989–1993, en el cual se produjo el primer intento fallido de concesionar el salar de Uyuni a la empresa norteamericana FMC Lithco.

Un tercer hito está constituido por el periodo 2008–2013, en el que el estado boliviano asume la decisión y responsabilidad de investigar, explotar e industrializar las salmueras del salar de Uyuni y del salar de Coipasa. Este periodo se destaca por la realización una importante etapa de exploración e investigación de desarrollo tecnológico que se materializa con el inicio de la producción de KCl y Li₂CO₃ en la Planta Semiindustrial de Potasio¹⁸ y la Planta Piloto de Carbonato de Litio¹⁹ del salar de Uyuni, instaladas y operadas por la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos de COMIBOL.

Un cuarto hito abarca de 2013 a 2016, con la instalación y funcionamiento de la Planta Piloto de Baterías de Litio²⁰ y la construcción de la Planta Piloto de Materiales Catódicos²¹ en territorio nacional.

Se prevé que hasta 2018 se iniciaría el quinto hito histórico y fundamental con el inicio en Bolivia de la producción a escala industrial de litio y potasio.

■ Orígenes del proyecto 100% estatal

Luego de la salida de Bolivia de la norteamericana Lithco, el año 1993, para luego instalarse en el salar de Hombre Muerto en Argentina, catorce años después, el año 2007 –bajo el influjo de la nueva corriente social de recuperación e industrialización de los recursos naturales y la reasignación de rol productivo a la COMIBOL, mediante Ley 3720, de 31 de julio de 2007- la Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Sudoeste Potosino (FRUTCAS) planteó al gobierno de Evo Morales la necesidad de industrializar los recursos evaporíticos del salar de Uyuni, bajo el enfoque de un emprendimiento 100% estatal, sin la participación de empresas transnacionales. De este modo, la FRUTCAS impulsa la elaboración y presentación al gobierno del “Proyecto de Desarrollo Integral de las Salmueras del Salar de Uyuni – Planta Piloto – Proyecto a Diseño Final”, bajo el asesoramiento del ingeniero belga Guillermo Roelants du Vivier.

En este proyecto se establecen los primeros parámetros de mercados, la ingeniería del procesamiento de salmueras y subproductos, la infraestructura de la planta piloto y la sostenibilidad económica, social y ambiental de la fase piloto. Establece como prioridad la investigación de los procesos específicos para la salmuera del salar de Uyuni. La ejecución de un programa de perforaciones y bombeo, y la construcción de la infraestructura civil y básica (campamentos, laboratorios, equipos, maquinaria pesada, terraplenes, piscinas experimentales de evaporación, servicios y otros) para poder pasar luego al pilotaje (pruebas de evaluación, validación de diagramas de flujo, control de variables, ajustes, optimización, etc.) de los procesos estudiados y desarrollados mediante la implementación de una planta piloto de carbonato de litio y otra de cloruro de potasio, para posteriormente incursionar a una escala de producción industrial.

Inmediatamente después, y como resultado de la decisión adoptada por el gobierno para llevar adelante el proyecto piloto, se emitió el D. S. 29496, de 1 de abril de 2008, que declara prioridad nacional la explotación

Outre Mer (ORSTOM) de Francia para realizar el estudio de la geología del Cuaternario del Altiplano boliviano, la caracterización de los lagos Titicaca – Poopó y de las Cuencas Evaporíticas. Como resultado de estos trabajos, uno de los primeros y más importante estudio es el publicado en 1981 por François Risacher y Oscar Ballivián: Los Salares del Altiplano Boliviano - Métodos de Estudio y Estimación Económica.

18 Se encuentra ubicada en pleno salar de Uyuni, al sureste, y entró en operación en agosto de 2012. Tiene una capacidad productiva de 1000 ton/mes y empezó con aproximadamente 200 ton/mes.

19 Se encuentra instalada en tierra firme, lugar denominado Llipi, a orillas del salar, a unos 15 km distante de la Planta Semiindustrial de Potasio. Entró en operación en enero de 2013 y tiene una capacidad instalada de 40 ton/mes de carbonato de litio. Se encuentra en operación a una capacidad menor a la instalada y ha alcanzado producir también, a escala piloto, carbonato de litio, grado batería.

20 Esta planta piloto ha sido comprada bajo la modalidad de “llave en mano” a la empresa china LINYI DAKE TRADE Co. Ltd. en 2,7 millones de dólares. Se encuentra en plena operación y está ubicada en La Palca a unos 10 km de la ciudad de Potosí.

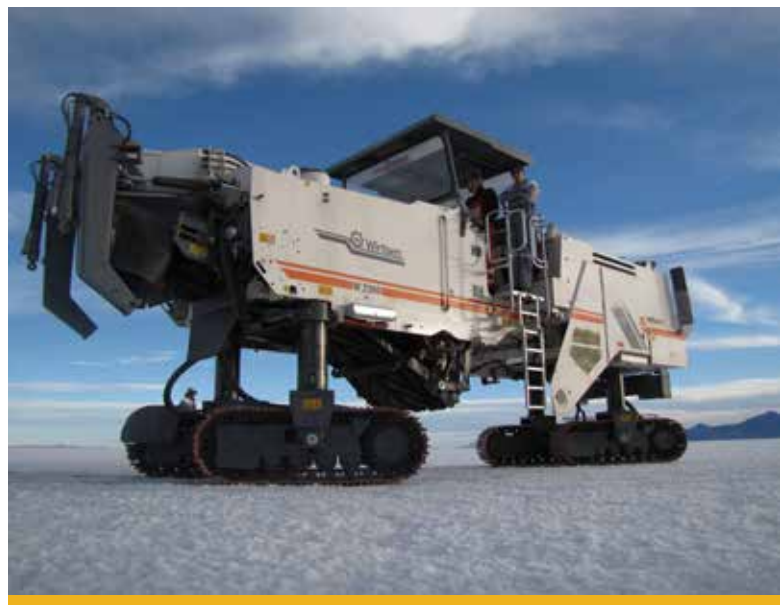
21 En ejecución bajo la modalidad de contrato de asociación entre la GNRE y la francesa Green Tech. Se prevé su puesta en marcha el 2017. La infraestructura civil está en obra y se encuentra también en La Palca, Potosí.

de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni; instruye la creación de un ente ejecutor de su exploración, explotación, industrialización y comercialización en el seno de la COMIBOL y asigna un presupuesto inicial de 5.700.000 de dólares para la ejecución del proyecto piloto.

Luego, el 3 de abril de 2008, mediante Resolución de Directorio de la COMIBOL N° 3801/2008, se aprueba oficialmente el proyecto piloto a diseño final y se crea, al interior de la estructura organizacional de COMIBOL, la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia, que posteriormente el año 2010 adquiere el rango de Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE).

■ La estrategia nacional de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia

Al cabo de dos años del inicio de las investigaciones y las obras civiles del proyecto piloto, el 21 de octubre de 2010 fue convocada una conferencia de prensa en la ciudad de La Paz, en la cual el Presidente Morales presentó oficialmente la Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia, estableciendo que el Estado industrializará con sus propios medios el litio y otros recursos evaporíticos considerados estratégicos, de tal manera que será un emprendimiento administrado, operado y financiado 100% por el mismo Estado. De acuerdo con lo establecido en esta estrategia, únicamente se aceptaría socios para la provisión de tecnología de punta, necesaria en la fabricación de baterías de ión litio. También anunció que el Gobierno contempla una inversión total de \$us 902 millones para llevar adelante esta estrategia de industrialización concebida en tres fases²².



Las bases de la estrategia de industrialización fue trabajada y diseñada previamente por algunos profesionales ligados a la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, al Ministerio de Minería y Metalurgia y al Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la UMSA.

Han sido tres los factores fundamentales los que han permitido que el Estado boliviano pueda adoptar una estrategia específica para industrializar los recursos evaporíticos. Un primer factor se ha basado en los resultados favorables alcanzados por los trabajos de investigación iniciados el 2009, que han permitido desarrollar un proceso específico a la naturaleza de la salmuera del salar de Uyuni.

Un segundo factor ha sido la disponibilidad de importantes recursos económicos del Estado vía crédito del Banco Central de Bolivia, provenientes de las reservas internacionales y que podían garantizar el financiamiento de las plantas industriales.

Un tercer factor ha sido la necesidad de que en todas las instancias ministeriales del gobierno de Morales se adopte una sola línea claramente identificada con el carácter 100% estatal del proyecto a cargo de la GNRE, pues al no existir en ese entonces una única política adoptada al respecto, reparticiones del Ministerio de Minería y Metalurgia, del Ministerio de Planificación y Desarrollo, y de la Cancillería eran vulnerables a la insistente presión ejercida por las empresas transnacionales interesadas en participar de la explotación del salar de Uyuni.

²² La Razón, 22 de octubre de 2010.



Bases conceptuales

Las bases conceptuales que han permitido la estructuración de la Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia han sido las siguientes²³:

- El litio es un recurso altamente estratégico, no sólo para Bolivia sino para el mundo, pues se ha posicionado en el campo energético como una alternativa factible que puede permitir la fabricación y utilización de acumuladores de energía eléctrica a gran escala. Su protagonismo y prometedoras perspectivas a corto y mediano plazo se desenvuelve en circunstancias de la exigencia y necesidad global de sustituir el uso de combustibles fósiles en el transporte, impulsando el uso masivo de vehículos con motor eléctrico alimentado por baterías a base de litio.
- El desarrollo de acumuladores energéticos de alta densidad contribuirá también a la consolidación y masificación del empleo de las energías alternativas renovables (energía eólica y fotovoltaica) que requieren de sistemas de almacenamiento y distribución continua de la energía eléctrica generada.
- El potasio es también un recurso altamente estratégico, no sólo para Bolivia sino para el mundo, pues tiene una relación directa con la necesidad alimentaria del planeta. Casi 95% del potasio producido es utilizado por la industria de fertilizantes destinados a la agricultura, ya sea directamente como cloruro de potasio, sulfato de potasio o como componente junto con otros nutrientes esenciales, como el nitrógeno y el fósforo. Su demanda en el mercado supera los 50 millones de TM/año y producirlo es una importante oportunidad económica para la región y el país.
- Frente a la constatación de que Bolivia cuenta con la mayor reserva de litio en el mundo y siendo el potasio un subproducto necesario en el proceso de obtención de carbonato de litio, la histórica oportunidad económica que ello representa para el país exige la necesidad de contar con una estrategia clara de industrialización integral de todos los recursos de interés económico presentes en la salmuera.
- Al constituirse en la reserva más grande de litio del planeta, Bolivia deberá garantizar el abastecimiento de este producto al mundo, en condiciones de mercado transparentes, sin monopolios ni especulación, de tal manera de contribuir efectivamente a la transformación de la matriz energética.

²³ Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia. GNRE, COMIBOL. 2010 y otros boletines y presentaciones de la GNRE.

- Siendo estos recursos de carácter altamente estratégicos para el Estado boliviano, la industrialización de los mismos debe ser dirigida, ejecutada, administrada, operada y financiada 100% por el Estado. La privatización o aplicación de contratos de concesión en el salar de Uyuni a favor de empresas privadas y transnacionales significará repetir la conocida historia de saqueo de la minería boliviana.
- Se debe impulsar decididamente el desarrollo de la soberanía tecnológica en aquellos campos que sea posible.
- Bolivia debe realizar una industrialización integral de los recursos evaporíticos, es decir, desarrollar la cadena productiva que permita aprovechar todos los elementos posibles que están presentes en las salmueras de los salares bolivianos (litio, potasio, magnesio y boro), generando mayor valor agregado en cada uno de sus eslabones e ingresar también a la industria de sus aplicaciones.
- La cadena de industrialización del litio que el Estado boliviano debe impulsar está constituida por la producción de carbonato de litio y sus derivados, la producción de materiales catódicos y la fabricación de baterías recargables.
- La industrialización de los recursos evaporíticos implica, además, la implementación de industrias auxiliares que permitan la provisión de insumos y precursores para estas industrias como ser: cal, carbonato de sodio, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, precursores de materiales catódicos (óxidos de manganeso, níquel, cobalto y fosfatos de hierro de alta pureza), electrolitos, membranas, láminas de cobre, carcasas, conectores y todos los componentes para baterías recargables que puedan ser fabricados en Bolivia.

Todos los elementos sustanciales de esta estrategia se fueron gestando desde el 2007, cuyo primer esbozo se encuentra presente en el documento del proyecto piloto presentado ese año por FRUTCAS. Posteriormente, esta estrategia se expresa con mayor claridad en los documentos de sustento del fallido Decreto Supremo 444, de mayo de 2010, con el que se intentó crear la Empresa Boliviana de Recursos Evaporíticos (EBRE)²⁴.

La estrategia nacional de industrialización de los recursos evaporíticos, finalmente presentada en octubre de 2010, ha sido concebida en tres fases:

- Investigación, pruebas y producción de carbonato de litio y cloruro de potasio a escala piloto (Fase I).
- Producción a escala industrial (Fase II).
- Fabricación de materiales catódicos y baterías de ión litio (Fase III)

■ Primera fase de la estrategia: investigación y plantas piloto

Ante la constatación de que cada salar tiene salmueras de distintas características físico-químicas, no existe un proceso estándar aplicable a cualquier salar o salmuera. Cada salmuera requiere de un proceso tecnológico específico y para ello es ineludible la realización de una etapa previa de investigación orientada a desarrollar el proceso químico metalúrgico a ser aplicado. Es un absurdo pensar, por ejemplo, que el proceso aplicado a la salmuera del salar de Atacama pueda ser aplicado mecánicamente a la salmuera del salar de Uyuni o del salar de Coipasa. Sin excepción, todas las empresas que insistieron en participar de la explotación de la salmuera del salar de Uyuni incluyeron en sus propuestas una primera y necesaria etapa de investigación.

Planteada la necesidad de iniciar las primeras actividades de investigación orientadas a desarrollar la tecnología de procesos y la ausencia en ese entonces de una infraestructura adecuada en el salar de Uyuni,

²⁴ Informe Técnico N° 114-DDP 045/2010, de fecha 26 de febrero de 2010, firmado por Freddy Beltrán Robles, Director General de Desarrollo Productivo, y Saúl Villegas Requis, Director Nacional de Recursos Evaporíticos de COMIBOL. En este informe técnico se sustenta los motivos para el proyecto de Decreto Supremo de creación de la EBRE.

en octubre de 2008, la entonces Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos de COMIBOL instaló el primer laboratorio de salmueras en instalaciones del Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la UMSA, a objeto de realizar los análisis químicos correspondientes de las muestras provenientes de las perforaciones iniciadas y se construyeron las primeras pequeñas piscinas de evaporación experimentales en el salar de Uyuni. Una vez concluidas parte de las obras civiles en el área de operaciones del salar, el 2009 se instaló en Llipi un moderno y completo laboratorio de investigación y análisis químicos.

La investigación orientada al estudio geoquímico del salar de Uyuni y al desarrollo de procesos tuvo como etapa fundamental de maduración y resultados el periodo 2009 a 2010, lo que permitió resolver el *quimismo* de la sustancial disminución de la relación magnesio/litio de la salmuera y definir los flujogramas de los procesos de obtención de Li_2CO_3 y KCl a escala piloto. De esta manera se inició el salto desde el laboratorio y los programas de simulación, al diseño y dimensionamiento de los equipos a escala piloto, su construcción, adquisición e instalación en las plantas piloto.

Durante el 2011 se concluyeron los diseños de ingeniería de los equipos e instalaciones de las plantas piloto y buena parte de los mismos fueron construidos en el país.

La rehabilitación y reapertura (después de más de 15 años de cierre) en febrero de 2010 de la Maestranza de la Planta Industrial Pulacayo²⁵, ubicada a pocos kilómetros de la ciudad de Uyuni, fue resultado del requerimiento de fabricación de tolvas, reactores y otros equipos para las plantas piloto de la GNRE. En la actualidad, la Planta Pulacayo continúa en operación con la reapertura de la Fundición.

Una vez concluida la infraestructura civil de la Planta Modular de KCl sobre la costra salina al sudeste del salar de Uyuni y terminada la construcción e importación de los equipos (tolvas, correas transportadoras, silo, molinos, celdas de flotación, reactores, bombas, filtros banda, centro de control de motores y otros), el montaje de esta planta fue iniciado en marzo de 2012. Finalmente, el 9 de agosto del mismo año fue inaugurada la primera planta piloto de producción de cloruro de potasio.

Por otro lado, el montaje de la Planta Piloto de Carbonato de Litio, ubicada en tierra firme y a orillas del salar, pudo iniciarse en julio de 2012. Casi la totalidad de los equipos de esta planta fueron diseñados y construidos en el país (tanques de almacenamiento, tanques dilutores, reactores apagadores, reactores de carbonatación, bombas, caldero, filtros prensa y otros). El centro de control de motores y algunos sistemas de control automático fueron importados. Del mismo modo, esta primera planta piloto de producción de carbonato de litio en Bolivia fue finalmente inaugurada en enero de 2013.

Desde su puesta en marcha, estas plantas piloto iniciaron las pruebas correspondientes al pilotaje para el cual fueron diseñadas, con las primeras pruebas experimentales de producción.

Al respecto, es necesario referirse a algunas apreciaciones divulgadas en algunas publicaciones, que equivocadamente esperan que estas plantas piloto debieran producir a su capacidad plena desde sus inicios y fundamentan sus críticas en ello.

Por definición y concepto de ingeniería, toda planta piloto tiene por finalidad fundamental lo siguiente:

- Establecer la viabilidad operacional del diagrama de flujo diseñado y probado previamente en las pruebas de laboratorio, para validar o modificar el mismo a una escala mayor o piloto.

²⁵ http://www.comibol.gob.bo/noticia/60-COMIBOL_reactiva_Maestranza_de_Pulacayo

- Probar e identificar los componentes críticos del diagrama de flujo del proceso empleado.
- Afinar todos los parámetros del diagrama de flujo.
- Demostrar la operación integrada y continua del proceso.
- Controlar todas las variables del proceso y que puedan inferir en la operación de una planta a escala industrial.
- Comprobar y ajustar el balance de materia del proceso.
- Optimizar la calidad del producto en cuanto a recuperación y pureza.
- Identificar y cuantificar de manera más precisa los posibles impactos ambientales y establecer las alternativas posibles de prevención, mitigación y disposición.
- Verificar la capacidad para cumplir con los requisitos ambientales exigidos.
- Minimizar el riesgo técnico, operacional, ambiental, comercial y financiero antes de pasar a un escalamiento industrial.
- Generar la ingeniería conceptual y todos los datos requeridos para la ingeniería a diseño final de la planta a escala real o industrial.
- Entrenar y capacitar al personal para su mejor desempeño en la fase industrial.

Por lo tanto, una planta piloto no tiene por finalidad principal producir y comercializar la mayor cantidad posible del producto para generar ingresos. Esa finalidad corresponde a una planta a escala industrial. La posibilidad de generar ingresos mediante la producción piloto y su comercialización es un plus, no la finalidad en sí de una planta piloto.

Una vez controlados todos los parámetros mencionados y obtenido un producto con la calidad deseada, trabajo que puede durar varios meses o años, el pilotaje habrá cumplido su función fundamental. El funcionamiento o producción continua posterior no es más que el acto final o la culminación del pilotaje. La posterior producción de la planta piloto en su capacidad plena es algo opcional y, para el caso de la GNRE, es un plus importante por la posibilidad de generar significativos ingresos adicionales (aproximadamente 600.000 dólares/mes), dada la dimensión de sus plantas piloto.

En cuanto al dimensionamiento piloto, corresponde decir que en los proyectos mineros generalmente la escala de una planta piloto se encuentra en el rango desde 100 kg/hr hasta 1 ton/hr de capacidad de producción. Las 1.000 ton/mes de la planta piloto de cloruro de potasio excede este rango con 4 ton/hr, razón por la cual se la clasifica como semiindustrial.

■ Segunda fase de la estrategia: Producción industrial

El objetivo principal de la segunda fase es la generación de toda la infraestructura y condiciones necesarias para ingresar a la producción industrial de 30.000 TM/año de carbonato de litio y 700.000 TM/año de cloruro de potasio, bajo la conducción, administración, financiamiento, operación y comercialización a cargo del Estado boliviano, al 100%.





Para que la producción industrial ingrese en operación se requiere de innumerables estudios y trabajos previos que garanticen la infraestructura básica necesaria que permita ir produciendo y acumulando la suficiente cantidad de materia prima constituida por grandes volúmenes de silvinita y concentrados de litio. Parte de estos trabajos previos fueron iniciados desde fines del año 2011 y continúan ejecutándose con la construcción e impermeabilización de las piscinas de evaporación a escala industrial, algunas de ellas con una superficie basal de 30 hectáreas.

Mejorar y agrandar la infraestructura de acceso, transporte, telecomunicación, abastecimiento de energía eléctrica, gas natural o licuado, agua potable y salobre, piscinas de evaporación solar a escala industrial en las áreas de explotación y producción, desarrollo de las ingenierías a diseño final de las plantas industriales y auxiliares, constituyen las prioridades y condiciones para viabilizar la ejecución del futuro complejo industrial, trabajo que se realiza de manera intensa en la actualidad.

El presupuesto de inversión para la segunda fase es de 485 millones de dólares, financiados vía contratos de crédito otorgados por el Banco Central de Bolivia (BCB), con base en un presupuesto plurianual.

Mediante la Ley Financial N° 062/2010 del Presupuesto del Estado para la gestión 2011, aprobada el 28/11/2010 (un mes después del lanzamiento oficial de la Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos), se aprobó que el BCB deberá otorgar un primer crédito de 836,4 millones de bolivianos (120 millones de dólares) a favor de la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, para ser invertidos en la ejecución de la Fase II y en la Fase III, correspondiendo a esta última sólo 5 millones de dólares para el año 2011. La firma de los contratos para la otorgación del crédito tardó varios meses y recién en septiembre de ese año se produjo el primer desembolso y la disponibilidad efectiva para su ejecución se dio a principios de noviembre de 2011. De esta manera los plazos del cronograma de la fase II tuvieron su primera alteración.

El carácter 100% estatal está definido para las dos primeras fases. Es este hecho el que convierte al proyecto boliviano en el único en Sudamérica con tales características y que tiene por finalidad incrementar los ingresos a favor del Estado.

Luego de la conclusión de la ingeniería a diseño final de la Planta Industrial de Sales de Potasio realizada por la empresa alemana ERCOSPLAN, la construcción de la misma se encuentra a cargo de la china CAMC Engineering y se tiene prevista su puesta en marcha el año 2018. Del mismo modo, la ingeniería a diseño

final de la Planta Industrial de Carbonato de Litio (grado batería) está a cargo de la empresa alemana K-Utec AG Salt Technologies y se tiene previsto que la construcción de esta planta será concluida el 2018.

■ Tercera fase de la estrategia: Producción de baterías de ión litio

La tercera fase de esta estrategia tiene por objetivo contar con la tecnología de punta y apertura de mercados para la producción en Bolivia de materiales catódicos y baterías de ión litio. Es para esta tercera fase que se contempla la asociación estratégica con empresas especializadas para la transferencia tecnológica y que cuenten con presencia en el mercado, a objeto de abrir el ingreso de los productos a ser fabricados en Bolivia.

Plantea la necesidad de realizar investigación y especialización de personal técnico mediante la adquisición y funcionamiento de laboratorios especializados en electroquímica, síntesis de materiales, caracterización de materiales y formación de recursos humanos en aquellos países donde se investiga y producen materiales catódicos y baterías.

Contempla la puesta en marcha y operación de una planta piloto de baterías de ión litio y una planta piloto de materiales catódicos para luego, en función de la sociedad mixta alcanzada, pasar a la producción industrial.

El presupuesto establecido como el aporte boliviano para esta tercera fase alcanza a 400 millones de dólares. De esta manera, en abril de 2012 se compró “llave en mano” de la empresa china Linyi Dake Trade Co. Ltd. una planta piloto de baterías de ión litio que entró en operación en febrero de 2014.

Por otra parte, como parte del avance de la tercera fase, el 12 de noviembre de 2015, la GNRE y la empresa francesa Green Tech firmaron el contrato para la instalación, montaje y puesta en marcha de la Planta Piloto de Materiales Catódicos, cuya construcción se encuentra en plena ejecución²⁶.

Esta planta piloto estaría diseñada para trabajar en dos tipos de materiales catódicos, como el Óxido de Manganeso Litiado (LMO) y el Óxido de Níquel Manganeso Cobalto Litiado (NMC). El contrato establece alcanzar los siguientes objetivos²⁷:

- Contar con el anteproyecto del diseño (Lay Out) necesario para operar la planta piloto, además del aval de los planos del diseño final proporcionados por la GNRE y la validación del lugar destinado a la implementación del mismo.
- Adquirir los equipos especializados, insumos y materiales necesarios para la operación de la planta piloto en sus dos líneas.
- Realizar el montaje, instalación, calibración y puesta en marcha de todos los equipos de la planta piloto.
- Realizar la transferencia de tecnología para obtener materiales catódicos LMO estándar y NMC estándar, de acuerdo con los requerimientos del mercado mundial.
- Realizar las pruebas de verificación de correcto funcionamiento de los equipos y del producto final para garantizar la calidad, en conformidad con los estándares.
- Entrenamiento y formación de personal técnico boliviano de la GNRE en Francia, y en La Palca-Potosí (Bolivia).
- Contar con una guía de procesos definidos para la obtención de material catódico y experimentación.

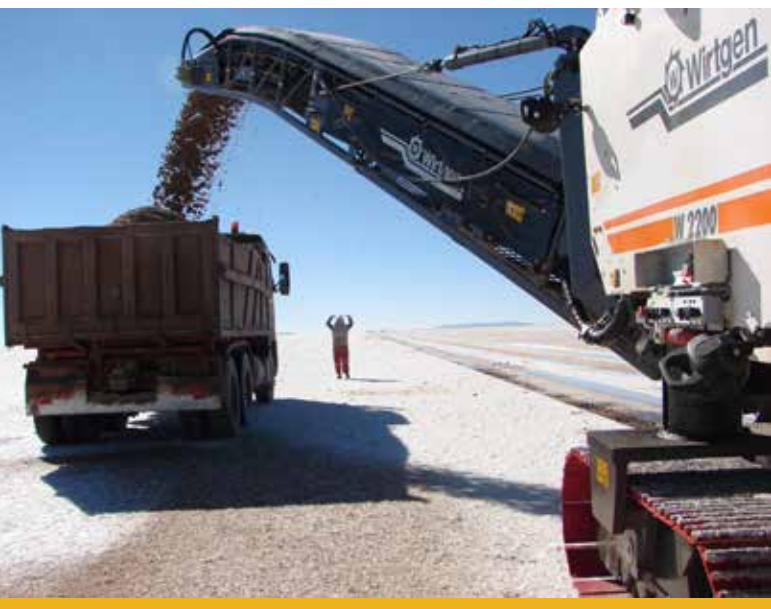
²⁶ Memoria 2015. GNRE, COMIBOL

²⁷ *Ibidem*.

Paralelamente a estas dos plantas piloto, también se ha empezado con la construcción de infraestructura en La Palca y adquisición de equipos para la instalación y funcionamiento del Centro de Investigaciones de la GNRE, conformado por varios laboratorios especializados en materiales, que por sus características y presupuesto se constituirá en el centro de investigación más grande y moderno del país.

■ Soberanía tecnológica

El valor que se le dio al rol primordial de la investigación para generar conocimiento científico y tecnológico exitoso como una de las principales herramientas del proceso de industrialización, constituye uno de los principales méritos y rasgos distintivos del proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos en Bolivia. Este mérito se engrandece por la gestación de un importante grupo de jóvenes investigadores bolivianos que constituyen el sustento científico de los avances alcanzados hasta el momento.



La complejidad de la composición química de la salmuera del salar de Uyuni, comparada con otros salares en el mundo, representó en su momento varios problemas y desventajas que debían ser superadas. Estas desventajas comparativas tienen que ver con una menor concentración de litio, una mayor razón de magnesio/litio, menores tasas de evaporación y una mayor precipitación pluviométrica, lo que implicaría un mayor costo de producción. Este hecho sirvió de argumento ideal a las transnacionales que pretendieron sentar pie en el salar de Uyuni, pues planteaban la imposibilidad de que el Estado boliviano y sus técnicos puedan resolver esos problemas y puedan desarrollar un proceso tecnológico viable. De esta manera, éstas se presentaban como la única alternativa tecnológica de la que se debía depender, al poseer mayor experiencia y mayor conocimiento respecto a la explotación de los salares, y que los bolivianos no deberían perder tiempo en investigar ni desarrollar conocimiento que supuestamente ellos ya lo tenían y que la única alternativa era

que se hagan cargo del proyecto o en el mejor de los casos tenerlos como socios. La visión colonial en el campo de la ciencia y la tecnología se expresó en toda su dimensión.

Estos argumentos llegaron a calar, en su momento, en algunas instancias gubernamentales y algunos “analistas” y medios de comunicación se encargaron de hacer coro a las transnacionales, llegando a plantear incluso el absurdo de que los investigadores bolivianos de la COMIBOL y universidades “no deberían perder su tiempo en inventar el agua tibia”. De tanto en tanto, aún se escuchan algunos ecos de ese coro.

Debido a que la naturaleza físico química de la salmuera de un salar respecto de otros es muy distinta, no es aplicable recurrir íntegramente a los procesos tecnológicos clásicos ya conocidos y utilizados en otros salares, como por ejemplo en el salar de Atacama. La salmuera de cada salar requiere de un proceso específico en función de sus concentraciones, quimismo y otros factores. Por lo tanto, sin un trabajo previo de investigación no sería posible encarar un proyecto serio de explotación e industrialización.

La salmuera del salar de Uyuni necesitaba el desarrollo o la adecuación de un proceso tecnológico específico, adecuado a sus características químicas, siendo la principal desventaja la elevada relación de magnesio/litio 18,6/1 en promedio, lo que quiere decir que por 1 parte de litio existen 18,6 partes de magnesio, comparada con otras como la de Atacama que alcanza una relación de 6,4/1. El primer desafío fue la imprescindible disminución de esta relación por métodos técnica y económicamente viables. Se

estudiaron y experimentaron diferentes procesos, como el proceso clásico de cristalización fraccionada en el campo de cloruros, el proceso en el campo de sulfatos y otros.

El proceso en el campo de cloruros consiste en la remoción de la mayor parte de los iones de la salmuera mediante la cristalización fraccionada por evaporación solar, dejando al final una salmuera rica en iones cloruro y litio hasta llegar incluso a una relación Mg/Li cercana a 1/1. La presencia de los iones sulfato debía ser removida para evitar su coprecipitación, lo cual impide la recuperación adecuada del litio. Esta remoción de iones sulfato, cuyas reacciones implican también una parcial remoción de iones magnesio, planteaba la necesidad de incorporar a la salmuera iones de calcio y oxígeno mediante la adición de cal apagada, para provocar la precipitación como sulfato de calcio e hidróxido de magnesio.

Los resultados de esta investigación fueron presentados en el Segundo Seminario 2010 organizado por el Comité Científico y la GNRE²⁸.

Para lograr disminuir la presencia del Mg se desarrolló el proceso denominado *saltingout*, que permitía ampliar el campo de precipitación de la carnalita, alcanzando una relación equimolar entre el potasio y el magnesio, de tal manera de ampliar forzosamente la precipitación de carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) –denominada carnalita artificial– y reducir aún más el contenido de magnesio en la salmuera y obtener, al final, una salmuera concentrada en Li para su transformación en carbonato de litio en la planta de procesamiento. Al ampliar el campo de la carnalita se lograba una precipitación de mayor cantidad de magnesio, para alcanzar de ese modo una relación de aproximadamente 1/1 respecto del litio.

Sin embargo, una de las principales desventajas y problemáticas del proceso en el campo de cloruros fue que se preveía la generación de grandes cantidades de residuos constituidos por los precipitados (lodos) de sulfato de calcio e hidróxido de magnesio provenientes del encalado, lo que constituiría un problema ambiental y costo adicional de transporte para su disposición.

Frente a los probables problemas avizorados, desde inicios de 2012 la GNRE abrió una nueva línea de investigación orientada a encontrar alternativas para disminuir sustancialmente los volúmenes de lodos generados por el encalado. Una de esas alternativas desarrolladas fue un nuevo proceso basado en la precipitación de sulfato de litio a temperatura ambiente²⁹ que no requiere el encalado de salmuera de pozo y disminuye la cantidad de piscinas de evaporación, por lo que también el costo de producción del carbonato de litio podía ser menor.

Es así que este nuevo proceso de concentración de la salmuera desarrollado fue finalmente adoptado y aplicado por la GNRE para la obtención de carbonato de litio a partir de la obtención de sulfato de litio³⁰. Inicialmente, fue aplicado de manera experimental en el circuito de la Planta Piloto de Carbonato de Litio, cuya materia prima procesada ha constituido el sulfato de litio, obtenido a partir de salmuera sin encalar. Este proceso disminuye sustancialmente la cantidad de cal requerida en una relación aproximada de 20 a 1 y en el transcurso de la cristalización fraccionada de la salmuera se obtienen previamente cloruro de potasio y sulfato de potasio, como derivados del proceso. Este proceso es efectivamente mucho más limpio desde el punto de vista medioambiental y constituye uno de los aportes investigativos de mayores connotaciones.

La adopción definitiva del proceso de obtención de sulfato de litio se consolidó en la ingeniería conceptual desarrollada y que ha servido de base para que la alemana K-Utec realice el estudio para la ingeniería a diseño final de la Planta Industrial de Carbonato de Litio, grado batería.

28 Memoria 2010, Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.

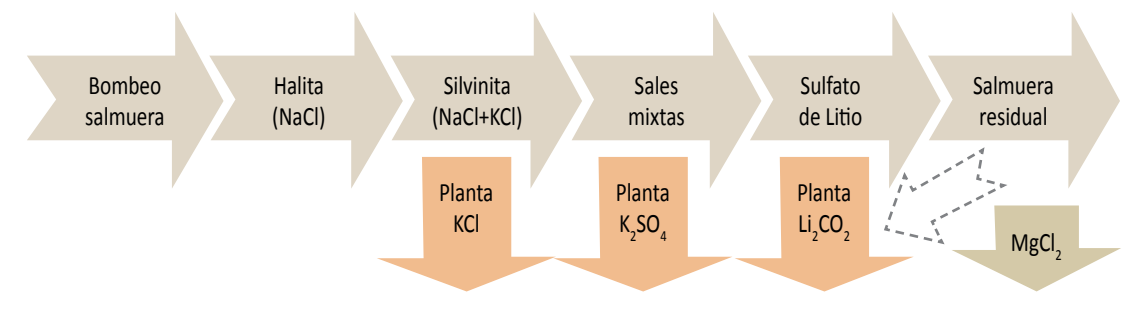
29 Memoria 2012, Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.

30 Memoria 2013, Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos.

La energía principal de la cristalización fraccionada es la energía solar que provoca la evaporación de la salmuera, lo cual permite la concentración paulatina de sus diferentes componentes y su precipitación selectiva en diferentes sales, hasta lograr al final una salmuera altamente concentrada en litio.

Por los grandes volúmenes de salmuera de tratamiento, la evaporación solar se logra en grandes piscinas donde la salmuera es bombeada y trasvasada consecutivamente a otras piscinas de manera controlada a medida que precipitan las diferentes sales. Este proceso puede observarse esquemáticamente en la Figura 8.

FIGURA 8
Esquema del proceso de cristalización en el campo de sulfatos



El total de área proyectada por la GNRE para la construcción de casi un centenar de piscinas de evaporación solar para el tratamiento de los volúmenes de salmuera a escala industrial alcanza aproximadamente a 18,5 kilómetros cuadrados sobre el salar³¹.

El proceso de cristalización fraccionada por evaporación solar ha demostrado por muchos años su viabilidad técnica y económica al ser empleado en varios salares del mundo, incluido el salar de Atacama.

El rol que ha jugado y juega la investigación en el proyecto a cargo de la GNRE ha alcanzado un alto grado de soberanía tecnológica y permitido logros tan importantes como haber generado un importante grupo de investigadores nacionales al interior de la GNRE y logrado coordinación con investigadores de varias universidades nacionales; haber concluido el pilotaje de los procesos de obtención de carbonato de litio y cloruro de potasio con una pureza de 99,97% (grado batería) y 95%, respectivamente, e iniciar la construcción de la fase industrial; el contar con una planta piloto de baterías de ión litio y avanzar en la instalación de una planta piloto de materiales catódicos. Estos son algunos de los avances exitosos que aseguran un futuro promisorio a la industrialización del litio en el país.

³¹ Memoria Anual 2012. GNRE.



El ABC del litio sudamericano

Un análisis sociotécnico en torno al desarrollo de los yacimientos evaporíticos de Argentina, Bolivia y Chile

Federico Nacif*

* Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
Programa Interdisciplinario Socioambiental (PIIdISA), Universidad Nacional de Quilmes (UNQ)

■ Resumen

Los salares andinos sudamericanos contienen más de dos tercios de los recursos mundiales de litio, un insumo clave para la producción de baterías recargables demandadas por casi toda la electrónica portátil y por los nuevos vehículos eléctricos en pleno desarrollo tecnológico. Estas salmueras continentales permiten obtener carbonato de litio de alta pureza bajo costos productivos muy inferiores a los de la minería convencional. Son por ello consideradas *estratégicas* por los países industriales, para la emergencia futura de un nuevo *paradigma tecnoeconómico* basado en la propulsión eléctrica y las energías renovables.

El presente trabajo analiza las distintas *dinámicas sociotécnicas* desplegadas en Argentina, Bolivia y Chile en torno a las reservas públicas de litio, a la luz de los esquemas tecnoproductivos y de los marcos normativos dominantes y su correspondiente forma de inserción en la división internacional del trabajo.

Palabras claves: recurso estratégico, ciencia y tecnología, desarrollo sustentable, dependencia, litio.

■ Introducción

Dos grandes sectores del capital industrial, en distintas etapas históricas de la economía mundial, impulsaron la emergencia del litio como un insumo productivo de carácter *estratégico*.

En primer lugar, la industria bélica norteamericana, durante la segunda Guerra Mundial. Si bien ya se utilizaba litio en la propulsión de cohetes y en aleaciones especiales, el ingreso de ese metal alcalino al podio de los recursos estratégicos lo dio como insumo crítico en la fabricación de la bomba de hidrógeno o termonuclear. En 1942, el gobierno de EEUU fundó la Lithium Corporation of America (Lithco, actual FMC) para la producción de litio-7, destinado al desarrollo de la bomba de hidrógeno (Proyecto Manhattan). En 1953, la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos encargó grandes cantidades de hidróxido de litio para la producción de armas termonucleares, posicionando así a la Lithco y a la Foote Mineral Company (actual Rockwood), como las principales productoras en el ámbito mundial. Ambas empresas norteamericanas fijaban los precios de la materia prima y, si bien las fuentes predominantes eran entonces los yacimientos mineros de espodumeno y petalita, desde los años 1960 impulsaron investigaciones sobre las grandes masas de salmueras continentales de Estados Unidos y América del Sur.

En segundo lugar, la industria automotriz transnacional en la actualidad. Tanto la expansión acelerada del capital financiero como el problema del futuro agotamiento del petróleo (visualizado con la crisis de 1973), impulsaron respectivamente investigaciones en telecomunicaciones y en sistemas de almacenamiento energético. Utilizando litio en la producción de materiales de electrodo, por su alto potencial electroquímico y su baja densidad, posibilitaron el desarrollo de una nueva generación de baterías eléctricas desechables y recargables. Durante la década de 1990 la producción de baterías ion-litio para la creciente industria de la electrónica portátil (telefonía, audio, computadoras), incentivó nuevas investigaciones destinadas a optimizar su funcionamiento, incitando a las empresas automotrices a optar por esta tecnología en la carrera por el desarrollo de los futuros vehículos eléctricos. En esta nueva etapa, la fuente predominante pasó a estar en los recursos evaporíticos contenidos en las salmueras de los salares, cuya extracción por bombeo permite obtener litio bajo diversas formas químicas, con una mayor escala y menores costos de producción, utilizadas en la producción de baterías eléctricas, pero también de grasas, lubricantes, aluminios, medicamentos y aires acondicionados.

Al menos 80% de los recursos de litio en salmueras del mundo se encuentran en los salares andinos de América del Sur, donde las transnacionales SQM y Albermale-Rockwood, radicadas en Chile, y la FMC Lithium Corp., radicada en Argentina, concentran desde hace casi 20 años alrededor de 50% de la producción mundial. Conocidas en los mercados bursátiles como las “Big3”, conforman un verdadero oligopolio del litio predominantemente norteamericano, aunque afectado por la creciente participación de empresas chinas y coreanas, la reciente aparición de nuevos actores vinculados a las grandes automotrices y el avance en Bolivia de un proyecto estatal sobre el salar de Uyuni, la mayor reserva mundial.

De esta manera, el fuerte impulso dado a la demanda de litio a comienzos del siglo XXI por la naciente industria de vehículos eléctricos renovó el interés de las grandes corporaciones por los yacimientos sudamericanos aún sin explotar, reviviendo el viejo dilema del *desarrollo dependiente*: “¿Debe la región limitarse una vez más al papel de proveedora de bienes naturales estratégicos para la gran industria transnacional? O, por el contrario, ¿debería impulsar un proceso de industrialización orientado principalmente hacia el desarrollo de tecnologías de almacenamiento energético?”. En la necesidad histórica de superar este dilema, y no sólo en los altos precios internacionales, debe buscarse el verdadero y novedoso carácter *estratégico* de las enormes reservas sudamericanas de

litio, basado en su valor de uso más que en su valor de cambio: la eventual industrialización de estos recursos no sólo tendría en los países de la región los impactos socioeconómicos de toda industria intensiva en ciencia y tecnología, sino que, además, podría destinarse a la emergencia de un nuevo esquema energético ambientalmente sustentable. La forma en que cada país responde a la creciente demanda mundial del litio, así como las actividades científicas y tecnológicas (ACT) asociadas con la obtención y los usos productivos, no sólo están determinadas por los diversos grados de desarrollo socioeconómico y científico-tecnológico previos, sino también por la particular conformación de los bloques sociales hegemónicos y la relación de fuerzas en que dicho bloque histórico se sustenta.



■ Procedimiento experimental

El elemento litio bajo análisis es considerado en función de la doble determinación natural e histórica común a toda materia prima: mientras sus cualidades físico-químicas –bajo determinadas condiciones tecnológicas- posibilitan diversos usos productivos (v. g., fusión nuclear y almacenamiento de energía), la forma social con que se presenta (v. g., objeto de investigación, insumo productivo o commodity), expresa los rasgos del modo de acumulación dominante, determinando tanto la propiedad del recurso como el usufructo, tanto la explotación como su consumo productivo, tanto la renta generada como su distribución.

La metodología de investigación desarrollada consiste, en primer lugar, en la búsqueda sistemática de diversos tipos de *documentos históricos* en función de las principales variables de análisis: por un lado, documentos jurídicos (leyes, decretos, resoluciones, notas institucionales, fallos judiciales) que expresen los marcos normativos nacionales relativos al litio; por otro lado, documentos institucionales, empresariales, periodísticos y académicos para la construcción de una base de datos sobre las Actividades Científicas y Tecnológicas (ACT) relacionadas con la cadena productiva del litio. A partir de allí, se elabora una muestra de investigadores y funcionarios vinculados con los *sistemas nacionales de innovación* de cada país, sobre la que se aplica una serie de entrevistas en profundidad destinadas a complementar y profundizar el análisis cualitativo sobre las ACT asociadas a la obtención y usos del litio, y sus vínculos con el sector productivo.

■ Resultados y discusión

El presente trabajo busca exponer de manera sintética los avances de la investigación doctoral en curso (Beca CONICET en Temas Estratégicos 2014-2018), destinada a analizar y comparar las distintas dinámicas sociotécnicas desplegadas en Argentina, Bolivia y Chile en torno a las reservas públicas de litio, desde mediados del siglo pasado hasta la actualidad, a la luz de los esquemas tecnoproductivos y de los marcos normativos dominantes en cada etapa histórica y su correspondiente forma de inserción en la división internacional del trabajo. Con ese fin, se presentará para cada país, una breve caracterización del modelo productivo del litio vigente en la actualidad (antecedentes históricos, régimen legal, datos económicos), seguida de un análisis en torno a las principales ACT desplegadas en cada caso en torno a la obtención y los usos del litio, en función de avanzar hacia un análisis sociotécnico integral y comparado.

Argentina: concesiones provinciales e inversiones mineras

Modelo productivo:

Originalmente considerados como potenciales fuentes de insumos críticos para la industria y la defensa local en el marco de la guerra fría, los yacimientos nacionales de litio en salmueras fueron transformados en recursos provinciales concesibles para la exportación en forma de *commodities mineros*. La oferta de todos los yacimientos mineros y evaporíticos provinciales para la atracción de inversiones extranjeras directas fue delineando una política sectorial basada en el régimen legal e institucional diseñado en los años 1990.

TABLA 1
Litio en Argentina: antecedentes históricos

1960-1975 Insumo crítico nacional	<ul style="list-style-type: none">- Desde los años 1960, la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) exploró las principales cuencas salinas de la Puna.- En 1975, la DGFM registró a su nombre las manifestaciones descubiertas sobre el Salar del Hombre Muerto (SHM), provincia de Catamarca.
1976-1982 Nuevo	<ul style="list-style-type: none">- En 1980, el gobierno militar incorporó al litio entre las sustancias concesibles de primera categoría en el Código de Minería (Ley N° 22.259 de 1980)- En 1982, intentó licitar la explotación del SHM a manos de la Lithco (actual FMC), pero la derrota en la guerra de Malvinas interrumpió el proceso.
1983-1992 Relocalización minera	<ul style="list-style-type: none">- En 1988, la DGFM adjudicó su proyecto sobre el SHM a la FMC Corp. en medio de la crisis de deuda externa e hiperinflación que acabaría con el primer gobierno democrático (Paralelamente FMC buscaba acceder al Salar de Uyuni de Bolivia).
1993-2001 Nueva política minera	<ul style="list-style-type: none">- En 1993 la provincia de Catamarca adjudicó el SHM a la norteamericana FMC Lithium, en medio de las reformas neoliberales y de la <i>nueva política minera</i> diseñada por el Banco Mundial (concesiones provinciales, amplios beneficios fiscales y eliminación del tradicional sector minerosiderúrgico estatal).- Desde 1998, Minera del Altiplano SA (subsidiaria local de FMC) es la cuarta productora mundial de litio y la segunda exportadora de litio en salmueras.
Desde 2002 Expansión de nuevos proyectos	<ul style="list-style-type: none">- Las concesiones mineras se expandieron sobre todos los salares de Catamarca, Salta y Jujuy, concentrando más de 20 proyectos de litio, potasio y boro, en muchos casos directamente vinculados a las automotrices como Toyota, Mitsubishi y Bolloré. En 2016, las grandes dos productoras de litio radicadas en Chile ingresaron a Argentina: 1) SQM compró a Lithium Americas Corp. el 50% de la Minera Exar, propietaria del proyecto Cauchari-Olaroz, Jujuy; 2) Albermale compró a Bolland Minera los derechos sobre el Salar de Antofalla, Catamarca.

TABLA 2

Litio en Argentina: régimen legal de propiedad y explotación

Constitución Nacional (1994)	“Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio” (Art. 124).
Código de Minería (1997)	Incluye al litio, molibdeno, potasio, azufre y boratos entre las sustancias concesibles de primera categoría, consagrando sobre todos los yacimientos la “propiedad minera” (hipotecable, transferible y heredable) y no contempla la declaración de sustancias minerales estratégicas por parte del Poder Ejecutivo (Ley 1919/1886, ordenada por Decreto 456/1997).
Régimen de Inversiones Mineras (1993)	Amplias facilidades arancelarias y desgravación impositiva. Regalías provinciales no mayores a 3% del precio en boca de mina. Estabilidad fiscal por 30 años. (Ley 24.196 de 1993).
Beneficios fiscales provinciales	Las exportaciones mineras de la Región de la Puna (Catamarca, Salta y Jujuy) gozan de un régimen de reintegro adicional de 2,5% (Res. 762/1993 y 56/2002 del Min. de Economía).
Empresas provinciales asociadas	Siguiendo recomendaciones del Banco Mundial para el sector minero, tanto la FMC en 1993, como la Lithium Américas y Orocobre-Toyota en 2012, acordaron una participación minoritaria por parte de los respectivos gobiernos de Catamarca (3%) y de Jujuy (8,5%).
Carácter “estratégico” provincial	La declaración oficial del carácter estratégico del litio en Jujuy (2011) y en Catamarca (2012) no significó la suspensión del sistema de concesiones directas sobre los salares, ni alteró las condiciones generales de la explotación.

TABLA 3

Argentina: principales proyectos de litio en salmueras

Proyecto / Salar	Provincia	Estado	Empresa/s	País/es	Capacidad productiva (t/año)
Fénix / SHM	Catamarca Salta	Explotación (1997)	Minera del Altiplano FMC Co.	EEUU	23.000 Li ₂ CO ₃ 5.500 LiCl
Rincón	Salta	Explotación piloto (2011)	Rincon Lithium Ltd Ady Resources	Australia	1.200 Li ₂ CO ₃
Olaroz	Jujuy	Explotación (2015)	Sales de Jujuy SA Orocobre (66,5%) Toyota Tusho (25%) JEMSE (8,5%)	Australia Japón Argentina	18.000 Li ₂ CO ₃ 36.000 KCl
Cauchari-Olaroz	Jujuy	Construcción	Minera Exar SA SQM (50%) LAC (41,5%) JEMSE (8,5%).	Canadá Japón Argentina	20.000 Li ₂ CO ₃ 40.000 KCl
Sal de Vida / SHM	Catamarca Salta	Factibilidad	Sal de Vida SA Galaxy (70%) Korea Corp (30%).	Australia Corea	25.000 Li ₂ CO ₃

Fuente: Elaboración propia. La información sobre capacidad productiva varía enormemente según las fuentes. En cuanto a la producción efectiva, Argentina exportó, en 2015, 13.926.480 t de Li₂CO₃ y unas 5.857.500 t de LiCl (Secretaría de Minería de la Nación, 2016).

Dinámica sociotécnica

A pesar del lugar que Argentina ocupa entre los principales exportadores mundiales de litio, y a pesar de los avances durante los años 1960 y 1970 en investigaciones sobre yacimientos y usos industriales, recién a partir de 2011 comenzaron a emerger en el país una serie de proyectos, convenios y eventos de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) relacionados con la obtención y aplicaciones del litio en las distintas fases de la acumulación electroquímica (compuestos básicos, electrolitos, electrodos, baterías). En cuanto a las tecnologías relacionadas con los procesos extractivos concretos, sin embargo, fueron y son desarrolladas y

patentadas íntegramente por las empresas privadas, a partir de laboratorios y grupos de trabajo radicados principalmente en sus casas matrices, sin ninguna vinculación con el SNI (v. g. FMC desarrolló su sistema de adsorción selectiva en Princeton; Orocobre encargó a TBT una planta piloto desarrollada en Israel; y Posco desarrolló la planta piloto para la Minera Exar, en Corea del Sur).

De esta forma, en ausencia de una estrategia política nacional en relación al litio, los diversos grupos de investigación buscan desde entonces impulsar sus respectivas estrategias particulares desvinculadas de la producción primaria, a través de distintos niveles gubernamentales. Limitadas por la primacía de la Secretaría de Minería de la Nación (Ministerio de Planificación) y de las autoridades mineras provinciales, estas *estrategias tecnológicas particulares* se vieron finalmente estimuladas por la flamante YTEC creada por YPF y el CONICET en 2013. En función de las distintas estrategias, pueden distinguirse dos redes de CTI radicadas en institutos CONICET y asociados a las tradicionales universidades nacionales:

- **Grupo productivo I+D:** formado por investigadores del Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas, Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la Universidad Nacional de la Plata, vinculados a especialistas del INFIQC y el FAMAF de la Universidad Nacional de Córdoba, del Centro Atómico Bariloche de la CNEA y de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de Catamarca, busca alternativas de asociación con empresas privadas locales para obtener financiamiento de proyectos I+D en baterías ión-litio destinadas al mercado interno (inicialmente para notebooks).
- **Grupo innovativo de CyT:** formado por investigadores del Instituto de Química y Física de los Materiales, Medioambiente y Energía (INQUIMAE), trabajan desde 2012 en el desarrollo de baterías litio-aire para vehículos eléctricos y en un nuevo método de recuperación electroquímica de litio en salmueras, promoviendo la creación de un centro especializado de CTI del litio, que forme y reúna académicos expertos en las distintas líneas de investigación vinculadas con la obtención y purificación de litio en salmueras y sus aplicaciones en acumulación electroquímica para la propulsión de vehículos eléctricos.

Como una suerte de reacción periférica al acelerado crecimiento de la demanda mundial, la repentina emergencia de esta Red Nacional de CTI en litio no fue ajena a la desarticulación y superposición que caracteriza a todo el Sistema Nacional de Innovación (SNI). Desvinculadas de la fase extractiva, que bajo el actual régimen de concesiones se destina exclusivamente a la exportación, esta *red* no puede orientarse a *convertir las ventajas naturales en ventajas competitivas*, contradiciendo los propios objetivos explícitos del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MinCyT).

Bolivia: reserva fiscal y empresa pública

Modelo productivo:

Durante los años 1980 y 1990, todos los intentos por concesionar el salar de Uyuni, la mayor reserva mundial de litio (10,2 M. t), fueron rechazados por movilizaciones sociales y fuertes cuestionamientos públicos. Desde 2007, sin embargo, el gobierno boliviano avanza con un plan de industrialización a cargo de una empresa pública que contempla la producción en gran escala de carbonato de litio y cloruro de potasio y, en el largo plazo, la producción de baterías de ión-litio.

TABLA 4
Litio en Bolivia: antecedentes históricos

1971-1981 Nueva renta potencial	<ul style="list-style-type: none"> - En 1976, el gobierno militar del Gral. Banzer suscribió convenio con la NASA de EEUU para la implementación del programa ERTS, que incluía la determinación de recursos valiosos en las salmueras del Salar de Uyuni, mostrando altas concentraciones de litio. - En 1976, la UMSA firmó un convenio de cooperación con la ORSTOM de Francia, contemplando la caracterización de las cuencas evaporíticas potosinas. En 1981, la ORSTOM publicó en París los resultados finales de la investigación (Ballivián y Risacher), posicionando a Bolivia como dueña de la mayor reserva de litio del mundo (5.500.000 t).
1982-1993 Licitación internacional (fallida)	<ul style="list-style-type: none"> - En 1985 el gobierno de Siles Zuazo creó el Complejo Industrial de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni (CIRESU), para convocar a licitación pública internacional. - En 1988, el gobierno de Paz Estenssoro decretó la Reserva Fiscal sobre el Salar de Uyuni, y ofrece a la Lithco (actual FMC) un contrato directo. - En 1990, el gobierno de Paz Zamora canceló el contrato y ordenó una nueva licitación internacional, finalmente adjudicada a la misma FMC en 1992. - En 1993, la FMC renunció al contrato, migrando su proyecto al SHM de Argentina.
1993-2006 Especulaciones inmobiliarias	<ul style="list-style-type: none"> - Entre 1997 y 2002 se redujo la reserva fiscal sobre el Salar de Uyuni a la “costra salina”, produciendo una rápida expansión de las concesiones con fines especulativos. - En 2003, el vicepresidente Carlos Mesa (presidente tras la renuncia de Sánchez de Lozada) restituyó la reserva fiscal de 1986 sobre el Salar de Uyuni.
Desde 2006 Industrialización estatal	<ul style="list-style-type: none"> - En 2007, el gobierno de Evo Morales declaró la reserva fiscal sobre todo el territorio nacional y aprobó la propuesta de la Federación Campesina del Sudoeste Potosino (FRUTCAS) para la explotación e industrialización de los recursos evaporíticos 100% estatal. - En 2008 se recuperaron las facultades productivas de COMIBOL, se creó la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos (DNRE) y se inauguró la construcción de la planta piloto de Llipi. - En 2010, la DNRE se elevó a gerencia (ahora GNRE) y se lanzó la “Estrategia de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia”, incluyendo una Fase 3 de producción piloto e industrial de baterías de litio y materiales catódicos.

TABLA 5
Litio en Bolivia: régimen legal de propiedad y explotación

Constitución Política del Estado (2009)	Recursos naturales: “de carácter estratégico y de interés público para el desarrollo del país” (Art. 348); propiedad y dominio “directo, indivisible e imprescriptible del pueblo boliviano” (Art. 349).
Ley de Minería y Metalurgia (2014)	<p>Todos los salares y lagunas saladas constituyen áreas reservadas para el Estado. “Se declara al litio y al potasio como elementos estratégicos, cuyo desarrollo se realizará por empresas públicas mineras” (Art. 26), para lo cual habilita a la COMIBOL a crear una empresa filial responsable de todas las actividades asociadas a la cadena productiva de los recursos evaporíticos (Art. 73).</p> <p>La producción y comercialización asociada a los procesos de química básica deberá ser desarrollada con una participación 100% estatal. Los procesos posteriores de semiindustrialización e industrialización podrán realizarse mediante contratos de asociación con empresas privadas, con participación mayoritaria del Estado.</p>
Plan de Industrialización de los RREE (2008)	Declara de prioridad nacional la industrialización del Salar de Uyuni para el desarrollo productivo, económico y social del departamento de Potosí.

TABLA 6
Bolivia: proyectos del litio en salmueras

Proyecto / Salar	Depto	Estado	Empresa/s	País	Inversión inicial (millones)	Capacidad productiva (t/año)
Llipi / Uyuni	Potosí	Producción piloto (2012)	GNRE	Bolivia	Fase I: 18,9	448 Li ₂ CO ₃ /10.000 KCl
					Fase II: 485	30.000 Li ₂ CO ₃ /700.000 KCl
Tauca / Coipasa	Potosí	Exploración	GNRE	Bolivia	1,6	-

Fuente: Elaboración propia con base en GNRE

Dinámica sociotécnica

En julio de 2009, un año después de inaugurar la construcción de la planta piloto de Li_2CO_3 y KCl en Llipi, se creó el Comité Científico de Investigación para la Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia. Por un lado, el Comité se propuso formalizar la integración de los científicos bolivianos que desde un comienzo dirigieron las investigaciones para el desarrollo de la planta piloto, vinculados inicialmente con el físico belga radicado en Potosí, Guillaume Roelants. Por otro lado, se buscaba encauzar la colaboración de los expertos de universidades, institutos de investigación y empresas, interesados en el desarrollo tecnológico en torno al litio, pero siempre bajo las premisas de un intercambio de conocimientos que no cuestione la propiedad pública del proyecto. Sin embargo, la iniciativa productiva del Estado boliviano reactivó a su vez la presión de distintos intereses –internos y externos- sobre la dirección del proyecto que, finalmente, terminaron minando las condiciones de existencia del propio Comité.

Por un lado, las demandas regionalistas de diversos sectores potosinos comenzaron a impulsar el surgimiento de proyectos paralelos al de COMIBOL, menos preocupados por la propiedad exclusiva del Estado Plurinacional que por los ingresos departamentales que se pudieran generar. Una de las formas en que se expresan estos reclamos regionalistas consiste en la emergencia de proyectos tecnológicos alternativos, a partir de acuerdos entre universidades regionales y organismos científicos de países expresamente interesados en la provisión de carbonato de litio. Desde marzo de 2008, por ejemplo, la Universidad Autónoma Tomás Frías acordó con la Universidad Técnica Academia de Minas de Freiberg de Alemania, el “Programa de Trabajo para el Proyecto Salar de Uyuni UATF-UT de Freiberg”.

Con relación a las presiones y demandas externas, el Gobierno intentó dar una respuesta política a partir de la firma de *memorándums de entendimiento*. Primero referidos al desarrollo de programas de industrialización y capacidades en ciencia y tecnología, desde 2011 se concentraron en el desarrollo de la cadena industrial vinculada a baterías ión-litio (Fase 3), permitiéndole al Gobierno encauzar las presiones y explorar diversas alternativas de *transferencia tecnológica*.

Este proceso de aprendizaje de gestión, en la práctica, se expresó al interior del parque industrial de la GNRE instalado en el predio de la vieja planta volatilizadora de estaño La Palca, departamento de Potosí:

- **Modelo joint-venture:** En marzo de 2012 se firmó un principio de acuerdo con la empresa surcoreana KORES-Posco para determinar el establecimiento de una empresa conjunta de capital mixto para impulsar la producción de materiales catódicos. Sin embargo, el principal motivo de KORES es la posibilidad de acceder a la mayor reserva de litio del mundo, y después de muchas negociaciones sobre costos, patentes y regalías, el acuerdo quedó virtualmente suspendido.
- **Modelo compra llave en mano:** En abril de 2012, la GNRE anunció la compra de una planta piloto de baterías recargables a la empresa china LinYi Dake, en 2,7 millones de dólares. La planta fue instalada por técnicos chinos a principios de 2014, con una capacidad inicial de 1.200 amperios horas/día.

En noviembre de 2015, la GNRE anunció la firma de un contrato con la empresa francesa ECM Green Tech para la instalación de una Planta Piloto de Materiales Catódicos, con una inversión cercana a 3,8 millones de dólares.

- **Vinculación tecnológica nacional:** En noviembre de 2015, la GNRE anunció la obtención de un crédito extraordinario del Banco Central de Bolivia para la implementación del Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje (CIDYP). Este evento es el resultado de un paulatino proceso de vinculación entre investigadores de distintos institutos para resolver los desafíos técnicos planteados diariamente por



las actividades productivas, principalmente el Instituto de Investigaciones de Metalurgia y Materiales (IMETMAT) y el Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ) radicados en la tradicional Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

Si bien Bolivia no dispone de un Sistema Nacional de Innovación desarrollado y articulado con las demandas sociales y las necesidades del aparato productivo, el Plan de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia actúa, en los hechos, como una suerte de *política implícita* de CTI, tendiente a un incipiente desarrollo científico y tecnológico a partir de una vinculación virtuosa con el aparato productivo.

Chile: recurso estratégico y contratos de operación

Modelo productivo:

Chile fue el primer país en establecer acuerdos con la industria química norteamericana para la exploración, investigación y producción de carbonato de litio a partir de salmueras. A mediados de los años 1970, el gobierno militar de Pinochet dio origen a los dos mayores proyectos de litio del mundo, permitiendo el ingreso de una empresa norteamericana y privatizando la empresa pública SQM. Sin embargo, la declaración de “recurso estratégico” en 1979, por su utilidad para la energía nuclear, impidió el avance de las concesiones sobre las demás reservas públicas. En 2015, en el marco de múltiples denuncias por corrupción contra SQM (controlada desde 1987 por Ponce Lerou, ex yerno de Pinochet), la Comisión Técnica del Litio, creada por el nuevo gobierno de Bachelet, ratificó el carácter estratégico y no concesible de las reservas, inaugurando un intenso debate político-institucional en torno al destino de los recursos evaporíticos.

TABLA 7
Litio en Chile: antecedentes históricos

1939-1973 Insumo crítico para el desarrollo nacional	<ul style="list-style-type: none"> - En 1939, el gobierno del Frente Popular FRAP creó la Corporación del Fomento de la Producción (CORFO) para impulsar el desarrollo industrial. - En 1968, la CORFO creó junto a la Cía. Salitrera Anglo-Lautaro la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM), para reestructurar la industria del salitre. - En 1971, el gobierno de Allende nacionalizó el cobre y el salitre, éste último por medio de la CORFO que adquirió el 100% de la propiedad de SQM.
1973-1982 Recurso nuclear y guerra fría	<ul style="list-style-type: none"> - En 1979, el gobierno militar de Pinochet decretó al litio como mineral estratégico no concesible, por considerarlo como un material “de interés nuclear” (DL 2.886), y si bien quedan vigentes las pertenencias litíferas otorgadas previamente a la CORFO, ese mismo año se dispuso que cualquier acto jurídico relacionado con el litio debería ser ejecutado con la autorización de la Comisión Chilena de Energía Nuclear. - En 1980 se creó la Sociedad Chilena del Litio (SCL), propiedad de CORFO (45%) y la norteamericana Foote Minerals Co (55%), para producir y vender compuestos de litio.
1982-1990 Nueva política minera de desnacionalización	<ul style="list-style-type: none"> - En 1982, la Ley Orgánica de Concesiones Mineras y, en 1983, el nuevo Código de Minería iniciaron la desnacionalización del cobre, aunque ratificaron el carácter estratégico del litio, protegiendo de la competencia los proyectos de CORFO que luego serían privatizados. - En 1984, SCL (de CORFO y Foote) inauguró la producción de Li_2CO_3 y en 1988 de KCl. - En 1986 se creó la sociedad mixta MINSAL Ltda. para producción de litio, potasio y boro: CORFO (25%), Amax (EEUU, 64%) y Molymet (Chile, 11%). - Entre 1987 y 1989 se concretó la privatización de las acciones de CORFO sobre: SQM, a manos de Ponce Lerou (entonces presidente de SQM y gerente de CORFO) SCL, a manos de Foote (luego Chemetall, actualmente Rockwood-Albermale).
1990-2014 Principal productor mundial de litio	<ul style="list-style-type: none"> - Entre 1993 y 1995, SQM adquirió el 100% de MINSAL Ltda. y acordó con CORFO el traspaso del arriendo sobre las propiedades en el Salar de Atacama, donde desarrolla el proyecto de sales de potasio y litio. En 1996 inauguró la producción de cloruro y sulfato de potasio, y en 1997 de carbonato de litio, generando una baja de los precios internacionales y desplazando la producción basada en minerales. - En 1998, SCL fue adquirida por la alemana Chemetall, que en 2004 es a su vez absorbida por la norteamericana Rockwood, productora de litio en EEUU y Australia. Ese mismo año comenzó la producción de LiCl en la planta La Negra, Antofagasta. - Entre 2000-2007, Ponce Lerou consolidó su posición en la dirección de SQM, en detrimento de la canadiense Potash Corp. (32%) y de otros accionistas minoritarios. - En 2012, el gobierno de Piñera otorgó a SQM la licitación de un Contrato Especial de Operación del Litio (CEOL). Sin embargo, la licitación fue finalmente anulada por irregularidades de la empresa (juicios pendientes con el Estado y tráfico de influencias).
Desde 2014 Nueva política del litio en disputa	<ul style="list-style-type: none"> - En 2014, el nuevo gobierno de Bachelet creó la Comisión Técnica del Litio para elaborar una política nacional de litio, presidida por la ministra de Minería y formada por 17 expertos independientes. En enero 2015, el informe final de la Comisión recomienda: <ol style="list-style-type: none"> 1. Ratificar el carácter “estratégico” y “no concesible” del litio 2. Revisar contratos vigentes con empresas privadas 3. Considerar la dirección estatal de producción primaria e industrialización - En 2015, Albemarle, de EEUU, compró Rockwood, que además de la operación de litio en Chile es dueña de Silver Peak (salmueras, EEUU) y de 49% de Talison (spodumeno Australia), junto a la china Tianqi Group, que a su vez busca adquirir acciones de SQM. - En enero de 2016, Bachelet presentó la nueva “Política del Litio y Gobernanza de los Salares”: ratificó el carácter estratégico del litio, creó el Comité CORFO para el litio e instruyó a las empresas estatales CODELCO y Enami, dueñas de grandes pertenencias en salares, a definir un nuevo modelo productivo, estatal o mixto. En febrero de 2016, CORFO firmó un acuerdo de entendimiento con Rockwood, para la futura suscripción de un contrato de ampliación de capacidad productiva de 24.000 a 70.000t/año, a cambio de una tasa progresiva que podría llegar hasta el 40% de las ventas. - En 2016, en medio de crecientes polémicas y denuncias por corrupción, la Cámara de Diputados aprobó la creación de una Comisión Especial Investigadora del Litio.

TABLA 8
Litio en Chile: régimen legal de propiedad y explotación

Constitución Nacional (1980)	<p>“El Estado tiene el dominio absoluto, exclusivo, inalienable e imprescriptible de todas las minas, comprendiéndose en éstas las covaderas, las arenas metalíferas, los salares, los depósitos de carbón e hidrocarburos y las demás sustancias fósiles” (Art. 24).</p> <p>“Corresponde a la ley determinar qué sustancias [...] pueden ser objeto de concesiones de exploración o de explotación”, con excepción de hidrocarburos (Art. 24).</p>	
Código de Minería (1983)	<p>El litio no es susceptible de concesión minera, sin perjuicio de las concesiones válidamente constituidas con anterioridad a la norma (Art. 7).</p> <p>“Si el Estado estima necesario ejercer las facultades de explorar con exclusividad o de explotar sustancias concesibles, deberá actuar por medio de empresas de las que sea dueño o en las cuales tenga participación” (Art. 4).</p>	
Comisión Chilena de Energía Nuclear (1965-1979)	<p>“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.” (Art. 8, por Ley 2886 de 1979).</p>	
Contratos CORFO Pertenencias: Condiciones: Vida útil:	<p>SCL-ROCKWOOD (1980)</p> <p>3.334</p> <p>\$us 15 millones de una vez</p> <p>No paga canon ni <i>royalty</i> por litio</p> <p>Hasta extraer 200.000 t (aprox. 2040).</p>	<p>SQM (1993)</p> <p>16.384</p> <p>Canon anual: \$us 15 mil</p> <p>Royalty: 6,8% de ventas de litio</p> <p>Hasta 2030 o hasta explotar 180.100 t.</p>

TABLA 9
Chile: proyectos de litio en salmueras

Plantas	Estado	Empresa/s	Países	Producción 2014	Capacidad productiva anual
Atacama y Antofagasta	Explotación (1997)	SQM	Chile Canadá	30.000 t Li ₂ CO ₃ 4.200 t LiOH*H ₂ O 1.993.000 t Sales de K	48.000 t Li ₂ CO ₃ 6.000 t LiOH*H ₂ O 2.000.000 t Sales de K
Atacama y Antofagasta	Explotación (1984)	SCL- Rockwood Albermale	EEUU	25.000 t Li ₂ CO ₃ 3.000 t LiCl 130.000 t Sales de K	25.000 t Li ₂ CO ₃ 20.000 t Li ₂ CO ₃ grado bat. 5.500 t LiCl 135.000 t Sales de K

Dinámica sociotécnica

Paralelamente al desarrollo de los primeros proyectos de litio en salmueras, desde fines de los años 1960 fue emergiendo en Chile una pequeña red de expertos en litio, integrada por una veintena de geólogos e ingenieros civiles químicos y en minas. Formados mayormente en la Universidad Técnica del Estado y en la Universidad de Chile, estos expertos chilenos se incorporaron inicialmente en el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) y en la Corporación del Fomento de la Producción (CORFO) y vincularon sus actividades a las de los ingenieros y geólogos de las dos litíferas norteamericanas pioneras en Chile, Foote Minerals y Amax [8]. De esta forma se consolidó en Chile una suerte de *red nacional de expertos en litio* que perdura hasta el presente, fuertemente vinculada con las grandes operaciones en marcha, tanto en Chile como en Argentina, y parcialmente integrada a las redes académicas internacionales. Para mediados de los años 1980, esta red logró organizar el 1er Simposio Chileno sobre el Litio en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Santiago, reuniendo allí a los principales expertos del mundo.

Si bien durante la década de 1990, la influencia de la red en el sector académico no creció significativamente (fundamentalmente en los proyectos de investigación de ciencia básica financiados por el CONICYT), la Comisión Chilena de Energía Nuclear organizó el 2do Simposio Chileno del Litio (1994) y la SQM creó

su propio Centro de I+D para desarrollar tecnologías sobre procesos del litio [2]. Con el aumento de la demanda y de los precios a comienzos del siglo XXI, y sobre todo en paralelo a la emergencia del nuevo debate público sobre la nueva política del litio en curso, se fue perfilando en los últimos años una doble dinámica sociotécnica relacionada con el sector litífero, que se expresa en dos tipos de Actividades Científicas y Tecnológicas:

- **Vinculación productiva:** asociadas a las actividades de la tradicional red de expertos, se desarrollan fundamentalmente al interior de las empresas operadoras y en pequeños grupos de investigación dedicados fundamentalmente a la optimización de procesos de extracción y operación, radicados en las tradicionales universidades de Santiago, como la Universidad de Chile y la Universidad Católica. Si bien en 2011 la Universidad de Antofagasta creó el Centro de Investigación Avanzada del Litio y Minerales Industriales (CELIMIN) con el objetivo de captar fondos de I+D de las empresas productoras de litio, recién en 2015 lograron firmar un convenio con Rockwood para desarrollar procesos que permitan la producción industrial de Nitrato de Litio.
- **Vinculación en proyectos de CTI:** más o menos integradas a las redes globales de CTI, estas actividades también se desarrollan principalmente en las universidades tradicionales y si bien tienen vínculos con los departamentos de I+D de las empresas productoras de litio, sus temáticas no están asociadas a la cadena productiva litífera nacional que generalmente justifica la financiación. En 2010, la Universidad de Chile creó el Centro de Innovación del Litio (CIL) con el objetivo de “contribuir al desarrollo nacional de la industria del litio”, financiando líneas de investigación sobre el uso del litio en baterías de avanzada que no prevé fabricar en el país. Sin embargo, en 2014, en conjunto con profesionales de las empresas Cero Motors, Conversiones San José Ltda., Possumus y Tinet SA, desarrollaron la primera batería eléctrica chilena llamada “Elibatt 4.0”.



Discusión: no hay innovación sin soberanía

Existen en Argentina, Bolivia y Chile especialistas que buscan relativizar la importancia de las reservas públicas de litio en salmueras para impulsar en la región un programa de desarrollo productivo intensivo en ciencia y tecnología al servicio de las propias necesidades sociales; o bien negando el carácter estratégico industrial y energético de las reservas, a las que consideran como una fuente más de commodities mineros; o bien desplazando la mirada hacia los proyectos de I+D en baterías de litio desvinculados de la producción primaria. En el primer caso, se supedita el desarrollo tecnológico nacional a los tiempos impuestos por el mercado mundial. En el segundo, se pretende promover la innovación tecnológica sin recuperar la soberanía sobre los recursos naturales. En ambos casos, se confunde el carácter estratégico de las reservas con el precio del commodity, olvidando, a su vez, la clásica distinción entre *valor de uso* y *valor de cambio*.

Los salares del altiplano sudamericano no sólo contienen 65% de los recursos mundiales de litio, sino que además representan 80% de los recursos de litio en salmueras, que permiten obtener carbonato de litio con el grado de pureza que demandan las baterías eléctricas, con los costos productivos más bajos del mundo (calculados entre los \$us 2.000 y \$us 3.000/t, con precios internacionales que pasaron de \$us 6.000/t en 2015 a superar los \$us 10.000, y hasta alcanzar los \$us 20.000/t en 2016) [1]. Esta distancia extraordinaria entre precios de venta y bajos costos de producción no se replica en el mercado de las baterías y mucho

menos podría replicarse si estas baterías fueran ensambladas en sudamérica. Esto no significa que no pueda ser rentable, sino sólo que la rápida expansión global del mercado de baterías tiende a presionar sobre los precios, reduciendo los márgenes de ganancia hacia las tasas medias.

Por el contrario, la mayor posibilidad de obtener ganancias extraordinarias radica fundamentalmente en las dos puntas extremas de la *cadena industrial del litio*: 1) en la innovación tecnológica de los vehículos eléctricos de alta gama, cuyo desarrollo industrial tiende hacia modelos de fuerte integración vertical, incluyendo la producción de las baterías eléctricas e incluso del propio carbonato de litio; y 2) en los bajos costos de producción que ofrecen ciertos yacimientos de litio en relación a otros. A diferencia de lo que ocurre con la innovación tecnológica, las ganancias extraordinarias obtenidas por el acceso a un recurso natural especialmente productivo dan origen a la llamada *renta del suelo*, que corresponde lógicamente al propietario original del recurso y que, en este caso, pertenece íntegramente a los Estados sudamericanos. El control soberano sobre los recursos evaporíticos de alta calidad, por lo tanto, no sólo es la condición para que los Estados puedan apropiarse de la renta pública, sino también para poder diseñar una política de innovación tecnológica eficiente en torno al desarrollo de sectores económicos domésticos potencialmente litio-intensivos (v. g., transporte masivo y energías renovables).

■ Conclusiones

Las grandes reservas públicas de litio de Argentina, Bolivia y Chile justifican, en la actualidad, la emergencia de una serie de ACT relacionadas con los usos industriales en la acumulación electroquímica de energía. Sin embargo, estas responden menos a las necesidades tecnológicas planteadas por la producción que al crecimiento de esas líneas temáticas de I+D registrado en las redes académicas globales desde fines del siglo pasado. Y si bien la producción primaria de litio también supone el despliegue de actividades de investigación aplicada (fundamentalmente en geología, ingeniería química y meteorología), cada país muestra una dinámica diferente asociada a las respectivas estrategias de aprendizaje tecnológico adoptada.

- En Argentina, mientras las ACT asociadas a las técnicas de extracción primaria se desarrollan exclusivamente al interior de las propias empresas concesionarias, al margen de los SNI y de cualquier tipo de fiscalización pública, a comienzos de la década de 2010 emerge una suerte de *red académica del litio* no relacionada con la cadena productiva, que busca participar de las redes globales de CTI sobre obtención y usos del litio en la industria de baterías.
- Bolivia, en cambio, a pesar de ser el país de menor desarrollo científico y tecnológico relativo, el proyecto estatal demanda, desde su inicio, la gestación de una *masa crítica de expertos* formada en la práctica (*learning by doing*) que pueda responder a un horizonte de desafíos mucho más amplio, que incluya tanto las demandas sociales y ambientales de la sociedad, como las aspiraciones de un verdadero desarrollo tecnológico autónomo en torno a la producción de baterías eléctricas.
- En Chile, finalmente, si bien los proyectos en I+D sobre baterías de litio están desvinculados de la cadena productiva, como en el caso argentino, el origen público de los dos grandes proyectos en producción supuso la gestación de una intensa red académica vinculada a las técnicas extractivas, que en la actualidad cumple la función social de *masa crítica y expertos* que profundiza los debates públicos en torno a la nueva política del litio, impulsados por la sociedad civil.

Si bien el incipiente desarrollo regional de ACT en torno a los usos del litio no fue ajeno al proceso de creciente integración subordinada a las megaredes globales de I+D, los regímenes de propiedad sobre las grandes reservas públicas (que generalmente justifican los financiamientos) determinan el tipo particular de relación entre ciencia, tecnología y producción dado en cada país.

■ Referencias

1. COCHILCO (2013). “Mercado Internacional del Litio”. Comisión Chilena del Cobre, diciembre.
2. Kesler S., Gruber P., Medina P., Keoleian G., Everson M., Wallington T. (2012). “Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposit”. *Ore Geology Reviews*, N° 48.
3. Kunasz, I. (1976). “Lithium resources—prospects for the future”. In Vine J. (edit.). *Lithium Resources and Requirements by the Year 2000*. Geological Survey Professional Paper 1005, p. 26-29. Washington: United States Government Printing Office.
4. Lagos, G. (2012). *El desarrollo del litio en Chile: 1984-2012*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
5. Lowry, J. (2016). “What Will the Lithium Price Be in 2016?” *Investing News Network*.
6. Aranda I.; Ehcazú; Mercado A. y Córdova K. Nacif, F. (20015). En Nacif F. y Lacabana M. (coords.). *ABC del litio sudamericano: soberanía, ambiente, tecnología e industria*. Buenos Aires: UNQ-CCC.
7. Nacif, F. (2015). “Producción de litio en Argentina: sobre la ley y el debate”. Revista *Realidad Económica* N° 295, *Recursos naturales: el litio en debate*. Buenos Aires: IADE.
8. Nacif, Federico (2012). “Bolivia y el Plan de Industrialización del Litio 100% Estatal: desarrollo autónomo y soberanía energética”, Revista *La Migraña*, Vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia, Año 1, N° 3, diciembre, p. 88-104.
9. Pérez, C. (2010). “Technological revolutions and techno-economic paradigms”. *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 34, N° 1, pp. 185-202.
10. Maturana A., “Crean primera batería de litio *made in Chile*”, *Diario Financiero*, 19/11/2014.



Dimensiones y atributos estratégicos de la industrialización del litio en Bolivia

Ivan Aranda

Universidad Nacional de Quilmes

■ Resumen

La industrialización de los recursos evaporíticos en Bolivia representa un ejemplo paradigmático de política pública en materia de ciencia, tecnología e industria, en tanto que en su forma industrializada de un recurso natural estratégico las baterías de litio (BdL) emergen como artefactos capaces de satisfacer necesidades sociales en un sentido amplio.

Como valor de cambio, desde una perspectiva de mercado, y a la vista de los avances científicos y técnicos alcanzados en esta materia, se puede afirmar que hoy muchos subsectores de la industria de baterías de litio son maduros. Todo parece apuntar hacia el crecimiento de la demanda de estos dispositivos de manera sostenida durante muchos años. Como valor de uso, con el horizonte del agotamiento paulatino de los combustibles fósiles y creciente concienciación sobre la problemática medioambiental, la BdL tiene el potencial no sólo de avanzar por la senda de la *soberanía energética*, sino de contribuir a la erradicación de la pobreza energética.

Por último, la elevada intensidad científico-tecnológica de los acumuladores de litio encierran un valor tecnológico que los convierte en *artefactos capacitantes*, útiles para articular una apropiación tecnológica que devenga *desarrollo de capacidades endógenas*

en ciencia y tecnología. Así, las BdL, como forma industrializada del litio de los salares bolivianos, en última instancia, incorporan una serie de atributos que las convierten en una herramienta contingente para transitar hacia el desarrollo soberano. El presente trabajo, pretende desarrollar y dar una visión alternativa sobre algunas dimensiones del proyecto litio en Bolivia y, a partir de ahí, reflexionar sobre su alcance en términos de alternativas de modelo de desarrollo.

■ Introducción

Uno de los temas más relevantes dentro de la agenda de desarrollo en América Latina es la industrialización de los recursos naturales, tanto por la ventaja comparativa que presenta la región, como por su potencialidad como herramienta de construcción social. Al respecto, la industrialización de los recursos evaporíticos en Bolivia representa un ejemplo paradigmático de política pública en materia de ciencia, tecnología e industria, no sólo por el momento histórico, tanto en el ámbito local, como global, o porque en su plano teórico y discursivo alude a un debate histórico sobre las formas en que se vincula la ciencia y la tecnología con el desarrollo; sino porque las baterías de litio, en tanto forma industrializada de un recurso natural útil para la satisfacción de necesidades en sentido amplio, encierran un fuerte potencial de *ensamblaje sociotécnico* que pone de manifiesto como sociedad y tecnología, más que determinarse recíprocamente, emergen como dos caras de una misma moneda (Bijker, 1990).



La industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia, y concretamente del litio, en su ámbito científico tecnológico, pretende la transformación de una materia prima –salmuera concentrada en litio– en productos comercializables derivados con diferentes grados de transformación:

- 1) Carbonato de litio (grado comercial)
- 2) Carbonato de litio (grado batería)
- 3) Sales derivadas del carbonato de litio (fluoruro de litio, hidróxido de litio, etc)
- 4) Precursores para baterías de litio (materiales catódicos y sales de electrolito)
- 5) Baterías de litio (GNRE, 2013).

Los productos comercializables se corresponden con las coordenadas de la cadena de valor del litio (Ilustración 1), en la que aquellos no sólo cumplen el rol de ser mercancías en cuanto valor de cambio comercializables en los mercados internacionales de productores de aplicaciones, sino que, además, cumplen el rol de valor de uso, pues sirven como insumos de producción para el eslabón siguiente de la cadena.

Pero esencialmente, la mercancía correspondiente al último eslabón de la cadena de valor, las baterías de litio, además de cumplir ese doble rol de valor de uso y de valor de cambio, en cuanto valor de uso, presenta una capacidad de resignificación (Thomas, 2008) que se relaciona con el contexto macrosocial en el que surgen y es contingente en su ulterior desarrollo:

1. **Como valor de cambio.** Desde una perspectiva de mercado, y a la vista de los avances científicos y técnicos alcanzados en esta materia, con base en los cuales se puede afirmar que al día de hoy muchos subsectores de la industria de baterías de litio son maduros, todo parece apuntar hacia el crecimiento de la demanda de estos dispositivos de manera sostenida durante muchos años.

- 2. Como valor de uso.** Sumado a la problemática de la sostenibilidad ambiental, o al paulatino agotamiento de los combustibles fósiles, cada vez con más frecuencia se debate sobre las limitaciones del actual modelo energético. Superar aquellas limitaciones a través de sistemas de generación renovable acoplados a dispositivos de almacenamiento –como las BdL- es una alternativa que cada vez cobra más fuerza. En este caso, la base tecnológica del futuro modelo energético liga indisolublemente la producción, con base en energías renovables, con la acumulación. Y ello cobra relevancia para Bolivia y la región no sólo desde el punto de vista estratégico y geopolítico, sino también desde la perspectiva de la satisfacción de una necesidad de acceso a la energía, en un contexto regional de pobreza energética.
- 3. Como valor tecnológico.** Una tercera característica de los acumuladores de litio es su elevada intensidad científico-tecnológica. En este sentido, el mandato político que asumió el Presidente Evo Morales, en enero de 2006, supone, ineludiblemente, como condición necesaria para superar la histórica dependencia de Bolivia, dar valor agregado a los recursos naturales del país, incorporando en ellos conocimiento para transformarlos en productos tecnológicamente avanzados. No obstante, la consecuencia de esto no sólo es el aumento del valor económico y tecnológico. Al mismo tiempo, la conversión de un recurso mineralógico, como el litio, en un artefacto tecnológico como las BdL, encierra la posibilidad de acometer una apropiación de la tecnología mejorando las capacidades internas científico-técnicas a través del manejo de un artefacto *capacitante*.

■ Metodología

Para abordar el estudio de la industrialización del litio en Bolivia, se considera apropiado un enfoque constructivista social de la tecnología (CST). En palabras de Hughes, los análisis sociológicos, tecnocientíficos y económicos están permanentemente entrelazados en un *tejido sin costuras* (Hughes, 1983). Bajo esta lógica, la Planta Piloto de Baterías de litio (PPB)¹ se constituye en componente fundamental de la industrialización del litio boliviano, al tiempo de emerger como objeto tecnológico aglutinador de un enfoque estratégico potencialmente innovador en el plano espacio-temporal.

En cuanto a su forma, la PPB, durante el proceso de conceptualización, quedó inserta en un momento constitutivo (Zavaleta, 1986) en el que las esferas económicas, políticas y sociales tradicionales fueron severamente cuestionadas y sometidas a un intenso ejercicio de refundación. Desde aquí es pensada la PPB como instrumento coherente de la “nueva sociedad”, capaz de responder de manera concreta a los incipientes retos.

Sin embargo, lo que aporta el contenido, como objeto tecnológico, a la planta de baterías está determinado, por una parte, por la geopolítica del litio y por la condición natural de Bolivia, como la mayor reserva mundial de litio, y por otra, por la propia utilidad que tiene esta tecnología para la



¹ La PPB, con una inversión total de \$us 3,7 millones, de los cuales, el 15% corresponde a insumos, el 20% a las infraestructuras de producción y el resto a la adquisición de bienes de capital y *know-how*, permite trabajar en dos líneas de producción de baterías: 1) de baja energía – celdas 0.8Ah- para aplicaciones portables y 2) de alta energía –celdas de 10 Ah para ensamblado de baterías 24V-10Ah- para bicis eléctricas o almacenamiento con fines de electrificación.

atención de determinadas necesidades sociales, como el abastecimiento energético. La combinación de ambos, la forma teórica de la PPB y su contenido tecnológico se determinan recíprocamente, y de su evolución a lo largo del tiempo dependerá el impacto real que tendrá la PPB para Bolivia. Por ello, el recorte que se propone requiere de la integración de estos dos enfoques epistemológicos, que además de ser complementarios, ambos por separado, contribuyen al debate sobre la realización de la PPB en su totalidad, es decir, tanto en su forma, como en su contenido.

Este enfoque tiene consecuencias a la hora de seleccionar los paradigmas bajo los que analizará el objeto y, de ello, los métodos y herramientas metodológicas que serán necesarios para llevar a cabo la investigación. Así, mientras que la forma de la PPB, ligada a su contingencia como valor tecnológico, será analizada atendiendo a un paradigma de tipo interpretativo, el contenido, más vinculado a sus atributos como valor de uso y de cambio, responderá a un paradigma positivista, confirmando así al estudio un carácter multiparadigmático embebido en dos marcos teóricos diferentes que serán combinados para la elaboración de las conclusiones.

Desde el punto de vista metodológico, para identificar tanto relaciones teóricas, como correlaciones hipótesis-acción entre las principales tesis del pensamiento latinoamericano en ciencia y tecnología con los planteamientos teórico-conceptuales implicados en el diseño de la PPB se recurrirá a una metodología cualitativa. Por otro lado, para evaluar la PPB como objeto tecnológico capaz de atender necesidades sociales locales, al tiempo de emerger como vehículo de tránsito hacia la instauración de un nuevo modelo energético en Bolivia se empleará una metodología cuantitativa, haciendo uso de la técnica de la prospectiva.

■ Resultados y discusión

En América Latina y el Caribe el suministro eléctrico ha alcanzado a 94% de la población total, con una cobertura urbana de 98,8% y rural de 74%, presentando la región la mayor tasa de electrificación de los países de la periferia; sin embargo, al día de hoy existen 30 millones de habitantes de la región sin acceso a electricidad (CAF-CEPAL el Al, 2013) y la gran mayoría de los 177 millones de personas que viven en condiciones de pobreza extrema se encuentran en condiciones de pobreza energética. Una iniciativa para asegurar un acceso universal a la electricidad en la región, basada en la generación renovable y el almacenamiento en baterías de litio, puede ser razonable teniendo en cuenta que en el área rural, donde existen las mayores deficiencias en el acceso a energía, esta alternativa de generación renovable-almacenamiento puede resultar en muchos casos superior –desde el punto de vista tanto técnico, como económico–, con respecto a aquella que opera mediante la conexión al sistema de red eléctrica convencional. En este caso, si se considera que los 30 millones de personas se distribuyen en familias de cuatro miembros que consumen, en promedio, 1kWh por día y familia², la energía que se necesitaría almacenar en baterías de litio sería de 7,5 GWh³.

Asimismo, en América Latina y el Caribe, para el año 2030, el 6% de los 3,3 TkWh instalados serán a base de fuentes renovables –excluyendo la hidroeléctrica y la biomasa– (OLADE, 2013), lo que supone aproximadamente 200 TWh⁴ repartidos en *otras fuentes renovables*⁵. Si se revisa –a la baja– la participación de la energía solar y eólica como el 50% de la generación renovable –al margen de la hidroeléctrica y biomasa– y asumiendo un factor mínimo de riesgo de 0,04% (Metz et Al, 2010), la capacidad de almacenamiento de energía necesaria para mantener la red estabilizada sería de 4 TWh. No es excesivo suponer que, teniendo

2 En el informe World Energy Outlook (EIA, 2011) se establece que los consumos mínimos son 250 kWh/año en zona rural y 500 kWh/año en zona urbana; en ambos casos, 5 personas por hogar. Este dato, estimado excesivamente a la baja según otros autores, representa en el caso de zonas rurales un consumo de 140 Wh por persona y día. Para efectos de cálculo, aquí se ha considerado un consumo de 250 Wh por persona y día.

3 Esto podría corresponder a 7,5 millones de baterías de 1 kWh –una por familia–, las cuales se descargan una vez por día; sin embargo, a efectos de cálculo, la configuración del sistema de almacenamiento es irrelevante.

4 TWh= Tera Watt hora. Nótese las distintas unidades que se están empleando: 1 TWh = 1000 kWh; 1 kWh = 1000 Wh.

5 Otras renovables incluyen: eólica, solar térmico, fotovoltaico, geotérmico, mareomotriz y undimotriz.



en cuenta las opciones de almacenamiento disponibles en el mercado⁶, tanto en términos económicos, como de desempeño tecnológico, las baterías de litio puedan participar con 10% de la demanda de acumulación. A pesar de que aún se trata de una tecnología de almacenamiento relativamente costosa (en comparación, por ejemplo, con las baterías de plomo-ácido), tanto su versatilidad en cuanto escalas de almacenamiento y rangos de operación, como las múltiples alternativas en los protocolos de carga-descarga, la convierten en uno de los principales candidatos. Es así que en el marco del estado del arte actual, la alternativa de almacenamiento de energía, con base en acumuladores de litio para sistemas de *back up* y servicios de gestión energética, se ha probado como una opción rentable en redes de tamaño pequeño y medio⁷ (Balaza, 2014).

Por tanto, bajo estas premisas, la necesidad de acumulación energética en América Latina, con base en baterías de litio, alcanzaría a 400 GWh en 2030. A modo de simplificación, teniendo en cuenta que hoy la capacidad de almacenamiento instalada para estos fines es prácticamente nula⁸, y suponiendo que las políticas energéticas evolucionasen de forma paralela y satisfactoriamente, junto con la reducción de costos y otras cuestiones de índole tecnológica⁹, podría darse un escenario en el que existiese un requerimiento

6 En el informe del BID, febrero 2014, “Potential for Energy Storage in Combination with Renewable Energy in Latin America and the Caribbean” se puede encontrar un análisis actualizado y en profundidad sobre las diferentes tecnologías de almacenamiento disponibles y sus perspectivas de aplicación en América Latina.

7 En Chile están siendo actualmente operados por la eléctrica AES Genner dos sistemas de *back up* de alta potencia en combinación con plantas tradicionales de generación. El primero, con una potencia de 12 MW, operado en el desierto de Atacama, además de gestionar la demanda y estabilizar la frecuencia de la red, genera beneficios a través de la venta directa de electricidad. En Antofagasta, otra instalación de 20 MW regula la frecuencia y proporciona la reserva energética –spinning reserves- de una planta termoeléctrica de 544 MW.

8 El año 2013, la capacidad de almacenamiento energético instalado con base en baterías en redes inteligentes fue de, a penas, 0,4 GWh (Navigant Research, 2014). La edición de 2013 del “DOE/EPRI Electricity Storage Handbook” describe 18 servicios y aplicaciones, divididos en cinco grupos, para los cuales son usadas las baterías de litio en la red eléctrica: 1) Servicios en masa, 2) Servicios secundarios, 3) Infraestructura de transmisión, 4) Infraestructura de distribución y 5) Gestión energética.

9 Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, las principales barreras de que depende la entrada masiva en el mercado de los sistemas de almacenamiento de energía a gran escala son: 1) Sistemas competitivos en costo (no subsidiados), 2) Validación del rendimiento y la seguridad, 3) Marco regulatorio apropiado y 4) Aceptación en el sector industrial (DOE, 2013). En este sentido, el DOE se ha propuesto una serie de objetivos a medio y largo plazo para propiciar el despegue del sector. A mediano plazo, en EEUU se espera alcanzar: 1) Inversión de capital para el sistema: < \$us 250/kWh, 2) Costos de nivelación: < 20 cent \$us/kWh/ciclo, 3) Eficiencia del sistema: > 75%, 4) Ciclos de vida: > 4.000 y además que las tecnologías de generación reduzcan el costo de inversión hasta menos de \$us 1750/kW.

masivo de acumulación a partir del año 2020. Esta aproximación parece más que razonable, si se contrasta con las proyecciones de la consultora *Pike Research* (Citada en DOE, 2013) que estima una potencia mundial instalada en almacenamiento para suministro eléctrico en 2022 de 14 GW, lo cual representa, operando solamente 4h/día de media, una capacidad de almacenamiento energético instalado de 20,4 TWh.

En lo que respecta al sector del transporte, el año 2009 había registrados en el mundo 980 millones de unidades, de los cuales 7,5% –aproximadamente 73 millones- se encontraban en América Latina. Ese mismo año se manufacturaron en el mundo 61,8 millones de unidades (OICA, 2009). El año 2013, evidenciando el dinamismo del sector, la producción mundial fue de 87,3 millones de unidades. Si se estima que la producción mundial en 2025 será de 95 millones de unidades, con una penetración de mercado para vehículos que funcionen con algún tipo de batería de litio de 17% (Sinumbox, 2012), y una energía media por batería de 15 kWh, se tiene que la demanda de almacenamiento de energía en baterías de litio para vehículos eléctricos será de 245 GWh. Si la contribución del parque automotor latinoamericano es del orden de 8%, esto supondría aproximadamente 20 GWh de almacenamiento en baterías de vehículo.

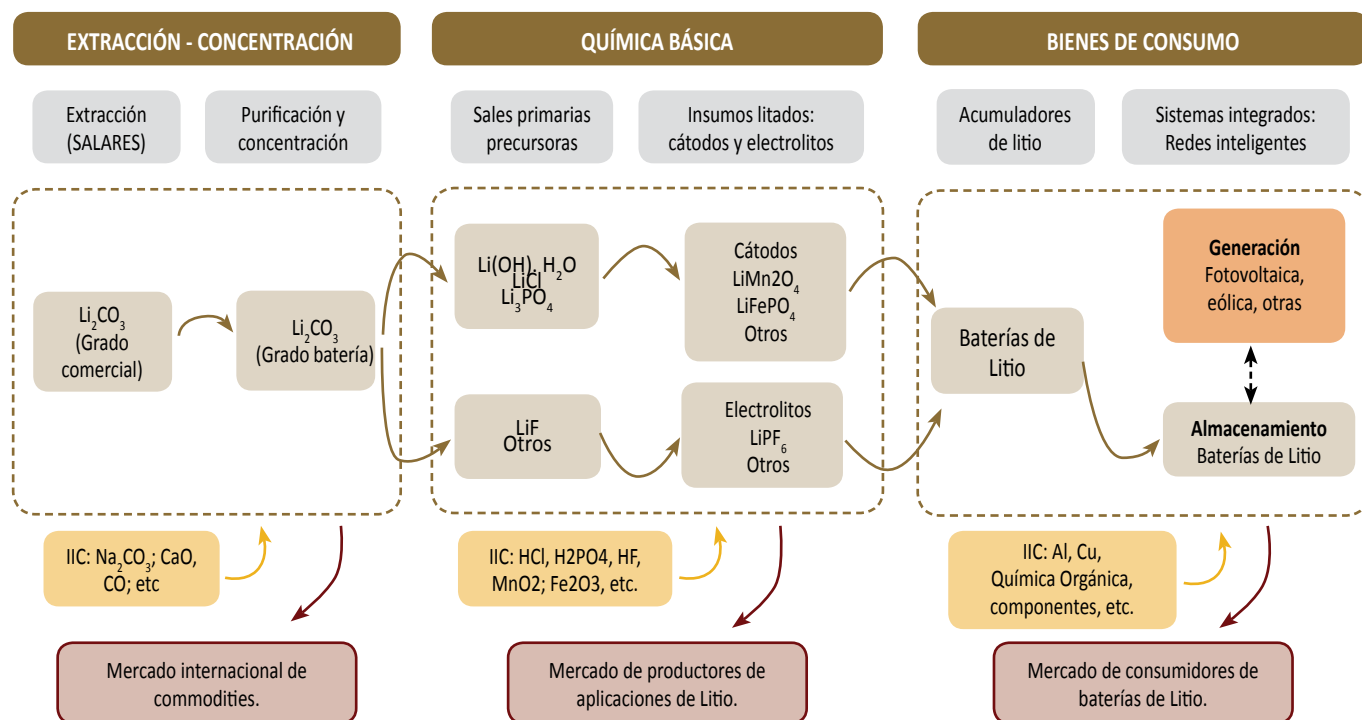
Si se parte de la base de que América Latina cuenta con las mayores reservas mundiales de litio y que en los próximos años habrá un importante crecimiento de la demanda de acumulación de energía, como consecuencia de la incursión de los vehículos eléctricos y del aumento en la capacidad de generación instalada mediante fuentes renovables, ¿cómo se podría aprovechar esta coyuntura en términos de la industrialización del litio en América Latina? Por un lado, evitar la triste paradoja de los recursos naturales, que históricamente ha convertido a los países poseedores de éstos en importadores de los mismos bajo la forma de bienes intermedios y de consumo, supone priorizar una premisa fundamental: el litio de los salares latinoamericanos debe transitar en sus diferentes formas químicas hasta ser incorporado en los productos finales, de lo contrario, el carácter estratégico del litio se desvanecería si son los países del centro los que transforman la materia prima en productos litiados con tecnología incorporada –materiales catódicos, sales de electrolito, baterías de litio- para su posterior exportación a los países de la periferia. Por otra parte, reconocer la necesidad del desarrollo completo de la cadena de valor del litio pasa por aceptar la dualidad manifiesta entre la oportunidad económica y estratégica frente al reto tecnológico, innovativo y de gestión. A continuación, a modo de orden de magnitud, partiendo de las necesidades presentes y proyecciones futuras para la demanda de almacenamiento de energía mediante acumuladores de litio, se presenta un escenario de base donde la conceptualización de la cadena de valor –Ilustración 1- es traducida en un dimensionado conceptual de las principales industrias involucradas.

ESCENARIO BASE: Cobertura de la demanda global de almacenamiento en América Latina en 2030.

Un despegue masivo del sector de las renovables a partir de 2020, donde 10% de las necesidades de almacenamiento sea cubierto con baterías de litio, supone una demanda de 400 GWh en 2030. Un modelo incremental para la década 2020-2030, con una tasa de crecimiento de 5% anual, requeriría de la instalación de 28,2 GWh en 2020, para llegar a los 45,9 GWh en 2030.

ILUSTRACIÓN 1

Esquema de la cadena de valor del litio

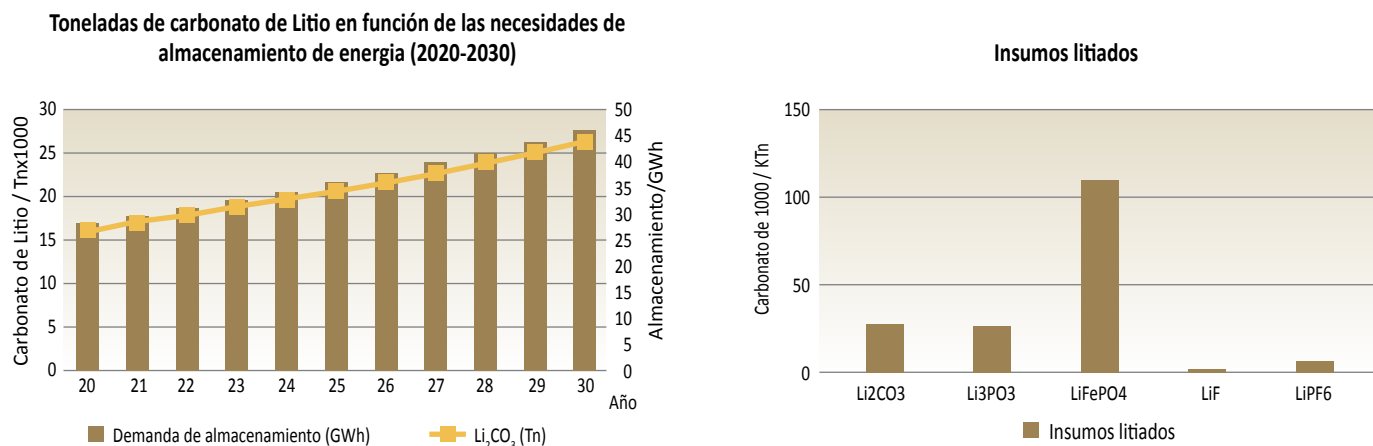


IIC: Insumos e Industrias Complementarias
Fuente: Elaboración propia

A partir de 2030 la demanda de almacenamiento energético para electrificación podría alcanzar los 50GWh/año. Esto corresponde con una producción anual de carbonato de litio de 28.000Tn/año.

ILUSTRACIÓN 2

Necesidades de Li_2CO_3 para satisfacer las necesidades de almacenamiento, según el escenario base



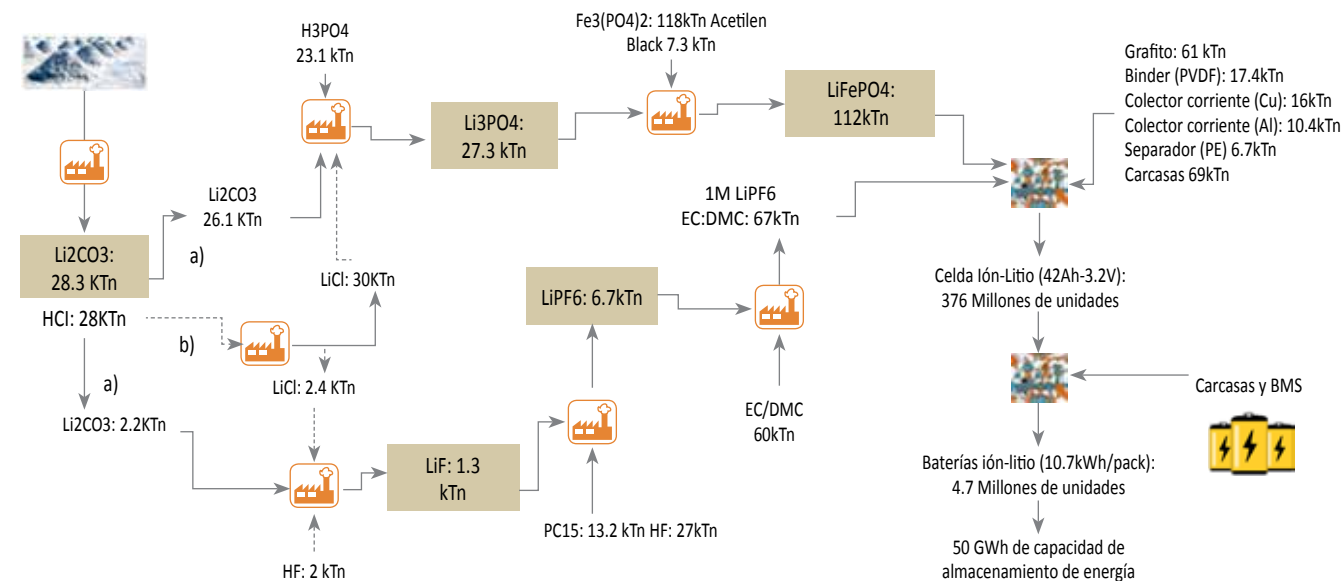
Fuente: Elaboración propia.

La incorporación del litio, producido como *commodity* (Li_2CO_3) en los salares latinoamericanos, en las baterías de litio, supone un tránsito de su forma química a través de la cadena de valor. De esta forma, 28.000Tn de carbonato de litio deberían, en primera instancia, ser transformadas en sales primarias derivadas¹⁰ (Li_3PO_4 y LiF), para posteriormente convertirse en los insumos litiados propiamente contenidos en las baterías (LiFePO_4 y LiPF_6). La incorporación de todo el material catódico y de electrolito en celdas de ión-litio, daría para la fabricación de 372 millones de celdas – 42Ah-3.2V-, que a su vez podrían ser ensambladas en 4.7 millones de baterías de 10.7kWh -5(8s2p)-84Ah-128V, por ejemplo-, dando como resultado una capacidad de acumulación de energía de 50 GWh.

Por otra parte, según el esquema de la cadena de valor presentado en la Ilustración 1, es posible dimensionar el orden de magnitud de las diferentes industrias involucradas y las necesidades de producción para satisfacer una demanda de acumulación energética de 50GWh/año.

ILUSTRACIÓN 3

Flujograma de industrialización del litio para una necesidad de acumulación energética de 50 GWh/año



- a) Ruta de síntesis directa a partir de carbonato de litio.
b) Ruta de síntesis a partir de transformación intermedia en cloruro de litio.
1 kTn: 1000Tn

Los cálculos estequiométricos han sido realizados considerando las reacciones químicas reactivos y rendimientos presentados en diferentes patentes y papers científicos:

- LiF y LiPF_6 (Belt et Al. 2007)
- Li_3PO_4 : (Kores, 2010)
- LiFePO_4 (Ming-Sang et Al 2007)
- Configuración interna de las baterías (Gaines y Cuenza, 2000)

Fuente: Elaboración propia

A modo de conclusión, de la estimación presentada en este flujograma se desprende que, en comparación con las 30,000Tn/año que producirá de la planta industrial de carbonato de litio diseñada por la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) de la COMIBOL, aproximadamente toda su producción anual sería necesaria para alimentar una industria de acumuladores de litio capaz de satisfacer una necesidad de acumulación de 50GWh/año. Asimismo, sólo a través de la comercialización de los acumuladores de litio las

¹⁰ La elección de las sales primarias derivadas del carbonato de litio no está prefijada. Dependerá del diseño de la batería, lo que condiciona tanto el material de electrodo, como el tipo de electrolito. En este caso, se ha considerado que la sal que compone el electrolito es LiPF_6 , por ser actualmente la más relevante en cuanto a uso industrial. En el caso del material catódico, el LiFePO_4 , ha sido seleccionado por: a) elevada seguridad, b) tecnología madura, c) extensamente empleado en industria, d) relativamente barato. Sin embargo, esto es sólo una selección dentro de las múltiples opciones que se pueden encontrar en el estado del arte.

utilidades netas acumuladas en el periodo 2020-2030 rondarían los US\$ 25.000 MM¹¹, revelando aquellos su contingencia como valor de cambio. Ahora bien, nada se ha dicho sobre qué tipo de tecnología sustancia los atributos de uso y de valor tecnológico. Esto es, ¿qué hay de la selección de los productos estrella de la industrialización del litio?

La explicación temprana sobre el fracaso del ISI, señalada por Raúl Prebisch, puede dar alguna luz al respecto. Prebisch, hizo notar que para profundizar en el proceso de industrialización se requería de la importación de insumos críticos y bienes de capital que no podían ser abastecidos por la industria nacional. Esto suponía que el modelo ISI, tal y como estaba planteado, conllevaba a un deterioro continuo en los *términos de intercambio* (Prebisch, 1949). La estructura social, heredada de la colonia, mantiene una distribución desigual del ingreso; lo cual determina una demanda sesgada hacia el consumo de las clases adineradas, caracterizada por bienes de consumo duraderos. Este patrón de consumo tuvo como consecuencia el bloqueo del desarrollo de la tecnología propia; coartando la iniciativa local para investigar e incorporar nuevos productos, procesos y otras innovaciones. Puesto que estos artículos presentaban una complejidad tecnológica que no podía ser generada en el mercado interno, no existió la necesidad de ampliar la base científico-tecnológica, al igual que el sector productivo, insertado en la dinámica de importar tecnología barata del exterior, tampoco promocionó su desarrollo local.

Es este un tema clave en el que la teoría de la dependencia es capaz de explicar - en parte- el porqué del fracaso del proceso de ISI en AL, a diferencia de otros países del este asiático¹². En este sentido, son destacables las diferencias en cuanto a complejidad tecnológica que existen entre las baterías de litio para vehículos eléctricos de última tecnología y aquellas destinadas al almacenamiento de energía para suministro eléctrico. Las primeras se encuentran en la frontera del conocimiento, es decir, aún no se ha conseguido establecer un sistema electroquímico capaz de satisfacer todas las condiciones que demanda la industria automotriz, mientras que las segundas han alcanzado la madurez tecnológica. El problema de lograr una optimización de la densidad de energía –de la cual depende la autonomía de los vehículos-, con la densidad de potencia –relacionada con la capacidad de aceleración-, la seguridad, en un rango amplio de temperaturas de operación, y en un esquema competitivo de costos, supone un reto tecnológico que además se ve acrecentado en un contexto en el que el estado del arte está fuertemente protegido por las empresas líderes. La diferencia fundamental con las baterías para almacenamiento estático es que no son tan sensibles a la densidad de energía, puesto que para un sistema de *back up*, por ejemplo, el peso no es una limitante, lo cual permite una optimización más simple del resto de variables.



En otras palabras, con el grado de desarrollo tecnológico actual de las baterías de litio, es posible ensamblar acumuladores electroquímicos de gran capacidad para satisfacer prácticamente cualquier requerimiento de almacenamiento, sin comprometer la seguridad y a costos en el horizonte de la competitividad con los del modelo eléctrico vigente a base de generación no renovable. Además, estas tecnologías de “segunda generación” se pueden encontrar libres de patentes, licencias y royalties. Por el contrario, las baterías para

11 Para más detalle del cálculo véase (Aranda, 2015) “La industrialización del litio en América Latina: Alternativa productiva para la soberanía energética”.

12 Japón y Corea del Sur apostaron por una industrialización inicial de bienes salario que propiciaron una distribución más equitativa de los ingresos. Estos productos, a diferencia de aquellos tecnológicamente avanzados, son susceptibles de ser reproducidos con la tecnología local, además de ser consumidos en el mercado interno y, eventualmente, externo. Esta estrategia permitió un aumento equilibrado entre el nivel de consumo y las capacidades científico-técnicas

vehículos eléctricos, más allá de que aún no estén consolidadas, en cualquier escenario futuro siempre serán mucho más sensibles, desde el punto de vista tecnológico, que aquellas empleadas en aplicaciones estáticas. Pero además, esta misma lógica se trasfiere aguas arriba por todos los eslabones de la cadena de valor del litio. Puesto que la operación de una batería depende en gran medida de los materiales que la constituyen, el ensamblado de baterías para vehículos requerirá no sólo de avanzadas y complejas técnicas de procesamiento, al mismo tiempo deberá estar constituida por materiales – cátodos, ánodos, electrolitos, separadores, etc- con un alto valor tecnológico incorporado. Es decir, con ajustados rangos de impurezas y mínimas tolerancias en cuanto a estructura molecular y tamaños de partícula lo que, en términos de la producción, supone procesos productivos altamente estandarizados y equipos e infraestructuras costosas y de gran especialización.

Por lo tanto, en contraposición a la alternativa de orientar la producción hacia un patrón de consumo sesgado hacia aquel estrato social minoritario capaz de acceder a los vehículos eléctricos de última generación, una estrategia de industrialización orientada a desarrollar los usos energéticos de las baterías de litio para suministro eléctrico, implica no solamente orientar el desarrollo científico y tecnológico hacia un fin social de uso generalizado, como es el acceso a la energía eléctrica. Además, desde el punto de vista tecnológico supone una alternativa más económica y sencilla. En el marco del discurso vigente, centrado en la relevancia que el litio tendrá en un futuro escenario donde los vehículos eléctricos ostenten una im-

portante cuota de mercado, en cuanto a la comercialización del litio como *commodity*, este escenario es sin duda alentador, puesto que asegura la demanda para los productores latinoamericanos, sin embargo, pensando en una estrategia de industrialización del litio, tal vez una apuesta por el desarrollo de baterías para vehículos podría enfrentar una brecha tecnológica y unas barreras de entrada que no incentiven la ciencia y tecnológica local y, al contrario, favorezcan el colonialismo tecnológico (Urquidí, 1962), ante la incapacidad de desagregar los paquetes tecnológicos.

En otros términos, la consecuencia del uso de una tecnología incorporada en el proceso productivo y en los bienes de capital, pero encapsulada, es que el control de la producción, más allá de la operación de los equipos, queda en manos de las firmas proveedoras de la tecnología, lo que supone recurrir en un enfoque de desarrollo tecnológicamente dependiente. De aquí, si se parte de una visión de la industrialización donde es el litio contenido en los salares latinoamericanos el que es introducido en las baterías producidas en

la región, y además, se prioriza la soberanía científico- tecnológica, la viabilidad de este enfoque aumenta en la medida en que se reconoce que no es necesariamente la última tecnología la que mejor satisface las necesidades del proyecto político vigente.

En Bolivia, la visión de la cadena de valor del litio (Ilustración 1), que en la actualidad se encuentra acotada en sus dos extremos: carbonato de litio – baterías de litio, en la escala piloto y en desarrollo de sus eslabones intermedios refleja una estrategia de industrialización sugerente a diferentes niveles. El tránsito por una etapa de I+D – pilotaje sobre los eslabones principales de la cadena (carbonato de litio, cátodos y baterías), con anterioridad a la etapa industrial, si bien puede resultar más costoso y lento que la alternativa de acceder directamente a la producción a gran escala, también es cierto que implica ventajas desde el punto de vista de la capacidad de apropiación tecnológica y del conocimiento del negocio y los socios, lo cual redundará en una mejora en las aptitudes para la selección de tecnologías en etapas posteriores –a mayor





escala y, por tanto, con mayores compromisos de inversión-. De esta forma, trabajar en los diferentes eslabones de la cadena de forma simultánea, con un enfoque de gradualidad de la inversión, no sólo le permitirá a Bolivia adquirir una mirada integral del negocio del litio, sino también testar capacidades y compatibilidades culturales con los diferentes socios, así como evaluar las diversas modalidades de asociación y ejecución de los proyectos. Pero además, esta diversificación de socios y estrategias para la implementación de proyectos en sus diferentes fases, es especialmente relevante porque restringe la dependencia tecnológica sobre un socio concreto, a la vez que fortalece el control soberano a lo largo de toda la cadena de valor. De esta manera, el enfoque de Bolivia apela al discurso de que mientras se priorice el tiempo y la rentabilidad, en detrimento de la acumulación de capacidades internas, se estará renunciando a fortalecer aquellos atributos esenciales que pueden modificar la asignación centro-periferia.

En definitiva, la modalidad de ejecución elegida en el proyecto Boliviano pretende alcanzar diferentes objetivos: a) epistemológicos, relacionados con el negocio, los socios y sus culturas empresariales, la base científico-tecnológica, b) políticos, recuperando la soberanía sobre los RRNN, c) estratégicos, apostando por avanzar en el desarrollo autónomo y hacia un modelo energético sostenible y d) económicos, sin olvidar que el proyecto de industrialización de los recursos evaporíticos tiene que ser económicamente rentable.

En lo que compete al proyecto de la planta piloto de baterías de litio, con una inversión total de US\$ 3.7 millones, de los cuales, el 15% corresponde a insumos, el 20% a las infraestructuras de producción y el resto a la adquisición de bienes de capital y know-how, fue diseñado priorizando las posibilidades de desagregación del paquete tecnológico y el régimen de propiedad intelectual –libre de licencias, patentes y royalties-. El enfoque de la PPB no sólo apunta hacia un pilotaje integral, desde el punto de vista del desarrollo de las capacidades técnico-organizativas. Además, implícitamente, la producción de un bien de consumo final, como son las baterías de litio, puede operar como mecanismo de apalancamiento de mercados internos y externos (Rodríguez y Aranda, 2014)) permitiendo una evolución paulatina y equilibrada entre las esferas de la producción y la comercialización. Puesto en perspectiva un escenario futuro en el cual Bolivia entrase a la comercialización internacional de dispositivos para almacenamiento de energía, resulta conveniente una evaluación previa, tanto de sus usos sociales, como de la viabilidad, económica y tecnológica, en el nivel regional. De esta forma, la combinación de líneas de producción de baja energía para aplicaciones portátiles –baterías de 0.8Ah para celulares- y de alta energía –celdas de 10 Ah para ensamblado de baterías 24V-10Ah- para bicis eléctricas o almacenamiento con fines de electrificación, abren un amplio espectro de posibilidades en cuanto valores de uso.

Además, la tecnología seleccionada, responde a la estrategia cognitiva del proyecto, en tanto que incorpora la brecha tecnológica como un criterio principal de la selección. Así, tanto la tecnología del material catódico y otros insumos empleados en las celdas (LMO y LFP), como la propia configuración interna de las celdas y baterías se encuentran alejadas de la frontera del conocimiento. Lo mismo se puede decir de los equipos

de manufactura y de los procesos productivos involucrados. Salvo en etapas concretas, el procesado es manual, admitiendo tolerancias relativamente amplias. Asimismo, frente a la producción robotizada, en general, el equipamiento productivo de la PPB boliviana permite su comprensión, tanto interna, como del proceso que realiza. En definitiva, las decisiones tomadas por la GNRE develan una conceptualización del proyecto según la cual la planta piloto de manufactura y la tecnología de las baterías que ésta incorpora no se corresponden con una caja negra, sino que ambas cumplen el rol de artefacto capacitante orientado al desarrollo de capacidades endógenas en ciencia y tecnología.

■ Conclusiones

La crisis de identidad que sufre el sector energético mundial, aquejado de una problemática que abarca múltiples niveles, desde el horizonte de escasez o la cuestión medioambiental, hasta una cultura empresarial cuestionada por la sociedad civil, está acelerando el tránsito hacia un nuevo paradigma energético, en cuyo esquema los sectores litio-intensivos están llamados a desempeñar un importante rol. Ante este panorama América Latina, que ostenta más de dos tercios de la reserva mundial de litio, tiene la oportunidad de encarar el reto de subirse al tren de la modernización energética no sólo respondiendo a una lógica primario-exportadora, sino a través de una estrategia de industrialización orientada al desarrollo de la cadena de valor del litio.

Avanzar en esta dirección, poniendo el acento en el concepto de soberanía energética, entendida como la capacidad de los estados para definir y controlar su matriz energética, vincula en su dimensión material tanto al régimen de propiedad sobre los recursos naturales, como a las capacidades científico-tecnológicas para transformarlos en aquellos dispositivos consustanciales a un modelo de generación a partir de fuentes renovables: las baterías de litio. La consecuencia de este enfoque alcanza múltiples dimensiones: a) social –acceso a la energía y soberanía energética-, b) económica –rentabilidad de proyectos -, c) ambiental –modelo sostenible a largo plazo- y d) estratégica, apostando por avanzar en el desarrollo autónomo de capacidades en ciencia y tecnología.

Por otra parte, la historia sugiere que mientras se priorice el cortoplacismo y la rentabilidad, en detrimento de la acumulación de capacidades internas, se estará renunciando a fortalecer aquellos atributos esenciales que pueden modificar la asignación centro-periferia, y en este sentido, a diferencia de Argentina y Chile, donde la explotación bajo régimen concesional de los salares está desvinculada de una estrategia global de industrialización, el enfoque de Bolivia resulta aleccionador, pues se constituye como el único país del Cono Sur en prohibir las concesiones sobre sus reservas y fundar una empresa pública que busca su industrialización, en base a un proceso autónomo y soberano, en función de las propias necesidades sociales, e inspirado en la lógica de combinar el desarrollo autónomo de ciencia y tecnología, con la adquisición de ésta como paquetes desagregables, todo ello en la búsqueda de un fin concreto: el desarrollo sistémico de los recursos evaporíticos de Bolivia. A través del desarrollo del proyecto en sus fases lógicas –I+D y piloto como etapas previas a producción industrial-, operado a través de un enfoque de pilotaje integral con socios diversificados, el estado boliviano no sólo ha conseguido acumular enormes capacidades técnico-organizativas y el control sobre la producción del carbonato de litio y las baterías. Además, este enfoque puede activar un mecanismo de apalancamiento de mercados internos y externos que permita una evolución paulatina y equilibrada entre la base científico-tecnológica y las esferas de la producción y la comercialización. Por ello, la experiencia boliviana puede resultar relevante a la hora plantear una estrategia regional en torno a la futura matriz energética.

■ Referencias

- Aranda, Iván (2015) “La industrialización del litio en América Latina: Alternativa productiva para la soberanía energética”. Universidad Nacional de Quilmes
- Balaza, Lenin; Gischler, Christiaan; Janson Nils; Miller, Sebastian; Servetti, Bianmarco (2014) “Potential for energy storage in combination with renewable energy in Latin America and the Caribbean”, Febrero, Banco Interamericano de Desarrollo, División de Energía.
- Bijker, W. (1990) “The social construction of technology”, disertación doctoral inédita, Twenty University, The Netherlands, 1990, p. 188.
- CAF-CEPTAL et al (2013) “Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe”, Corporación Andina de Fomento – Comisión Económica Para América Latina, Marzo, en: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/51428/Energiavisionesobrelosretos.PDF>
- DOE, 2013 “Grid Energy Storage” (2013), US Government, U.S Department of Energy, Diciembre,
- EIA (2013) “International Energy Outlook 2013”, US Energy Information Administration, en: [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf)
- GNRE (2013) “Memoria Institucional”, Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos, La Paz, Bolivia.
- Hughes, Thomas P. (1983) “Networks of Power: Electrification in Western Society 1880-1930”, Baltimore, Johns Hopkins University Press
- Metz, Dieter; Fiedler, Thorsten; Mircea, Ion; Mircea, Paul-Mihai (2010), “Integration of distributed battery storages in modern power grids”, Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, Nº34, 2010, pp:137-141, en: <http://elth.ucv.ro/fisiere/anale/2010/26.pdf>
- NavigantResearch (2014) “Energy Capacity of Advanced Batteries for Utility-Scale Energy Storage Applications Will Grow 71 Percent per Year through 2023, Forecasts Navigant Research”, 29 de Mayo, en: www.sys-con.com/node/3096311
- OICA (2009) “2009 Production Statistics”, Organisation Internationale des Constructeurs d’Automobiles, París, Francia
- OLADE (2013) “Energía sostenible-Perspectiva regional: Centroamérica - América Latina y el Caribe”, Organización Latinoamericana de energía, Seminario de capacitación para américa central (SICA), Costa Rica 10-14 de Junio, en: http://www.iea.org/media/training/presentations/Day_1_Session_2c_OLADE_Overview.pdf
- Prebisch, Raúl (1949) “The economic development of Latin America and its principal problems” CEPAL, Lake Success.
- Rodríguez, Antonio; Aranda, Iván (2014) “De la Salmuera a la batería. Soberanía y cadenas de valor”, CIS-VICEPRESIDENCIA del Estado Plurinacional de Bolivia.
- Signumbox (2012) “Lithium batteries and vehicles/ Perspectives and trends”, Issue 06, Julio 2012, en: www.signumbox.com
- THOMAS, H. (2008), “Estructuras cerradas vs. procesos dinámicos: Trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico”, en Thomas y Buch (Comp.), Actos, actores y artefactos. Herramientas para el análisis de los procesos de cambio tecnológico y cambio social, Universidad Nacional de Quilmes Editorial, Bernal
- Urquidí, Víctor (1962) “El desarrollo latinoamericano, el capital extranjero y la transmisión de tecnología”, El trimestre económicos, Nº11
- Zavaleta, René (1986) “Lo nacional-popular en Bolivia”, Ed Plural.



En esta publicación se usó papel reciclado.

LITIO FUTURO

www.jubileobolivia.org.bo



@JubileoBolivia



+591 72025776



Fundacion Jubileo