

# Li

# LITIO EN LA ARGENTINA

Oportunidades y desafíos para el desarrollo de

## LA CADENA DE VALOR



Andrés López, Martín Obaya, Paulo Pascuini, Adrián Ramos.

Secretaría de Ciencia,  
Tecnología e Innovación Productiva



Ministerio de Educación,  
Cultura, Ciencia y Tecnología  
Presidencia de la Nación



# CATALOGACIÓN EN LA FUENTE PROPORCIONADA POR LA BIBLIOTECA FELIPE HERRERA DEL BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

Litio en la Argentina: oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor / Andrés López, Martín Obaya, Paulo Pascuini, Adrián Ramos.

p. cm. — (Monografía del BID ; 698)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Lithium industry-Argentina. 2. Lithium industry-Government policy-Argentina. 3. Mineral industries-Government policy-Argentina. I. López, Andrés. II. Obaya, Martín. III. Pascuini, Paulo. IV. Ramos, Adrián. V. Banco Interamericano de Desarrollo. Sector de Infraestructura y Energía. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. VII. Serie.

IDB-MG-698

JEL code: Q30, Q38, Q47, O13, O54

Palabras claves: Litio, Recursos Naturales, Demanda de Energía, Cadenas de Valor, Baterías, Desarrollo Económico, América Latina

Copyright © [2019] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

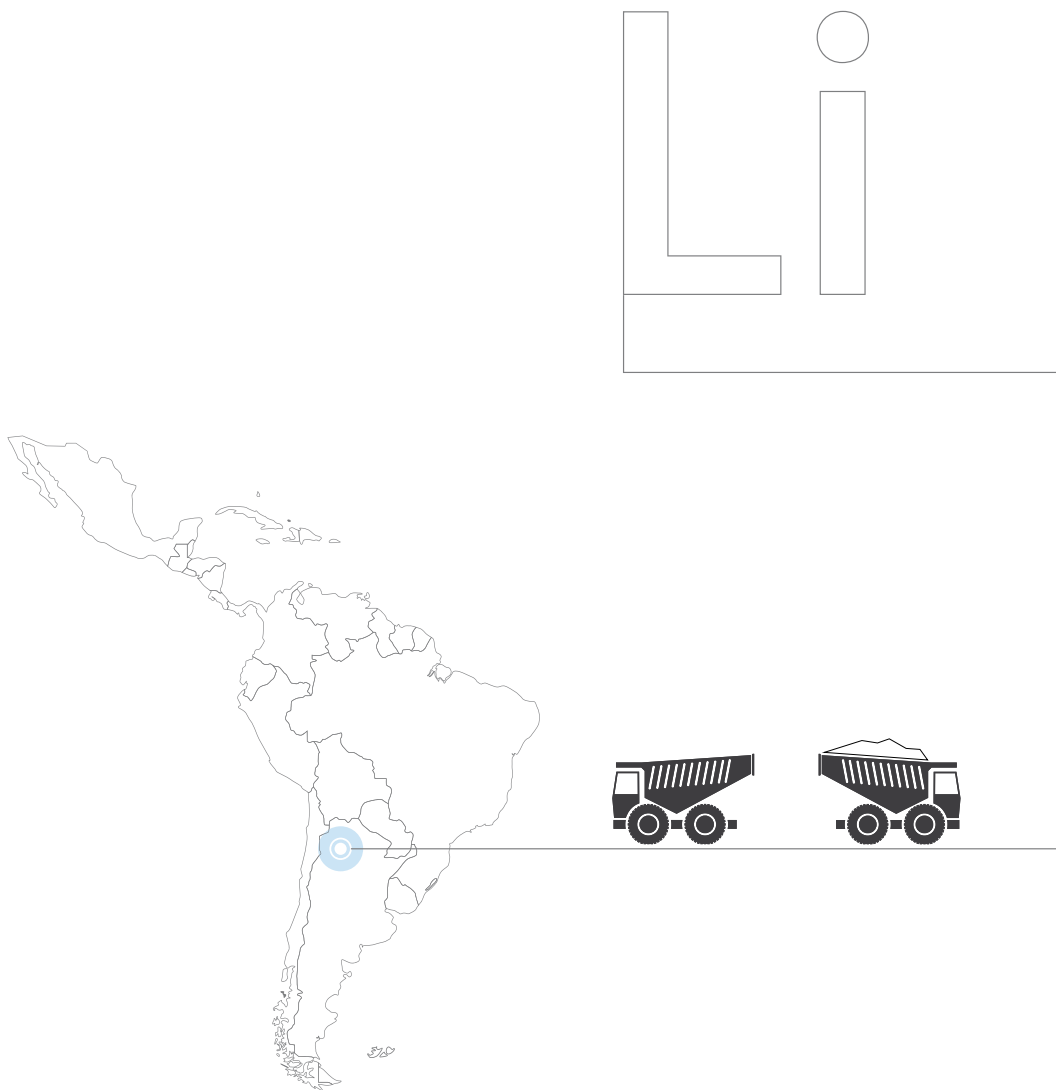
Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

“Litio en la Argentina” es un esfuerzo conjunto de la Iniciativa para el Sector Extractivo y la División de Energía del Sector de Infraestructura y Energía del Banco Interamericano de Desarrollo. El presente reporte fue coordinado por Lenin H. Balza y Virginia Snyder y forma parte de una agenda de trabajo que busca apoyar el fortalecimiento de la capacidad de gestión estratégica regional para el desarrollo de la industria del litio, poniendo especial énfasis en la superación de los desafíos de productividad, sostenibilidad y de generación de valor presentes a lo largo de la cadena de valor del litio.

**Para más información contacte a:**

Lenin H. Balza ([leninb@iadb.org](mailto:leninb@iadb.org)) y Virginia Snyder ([virginias@iadb.org](mailto:virginias@iadb.org))



“Lito en la Argentina” es un esfuerzo conjunto de la Iniciativa para el Sector Extractivo y la División de Energía del Sector de Infraestructura y Energía del Banco Interamericano de Desarrollo. El presente reporte fue coordinado por Lenin H. Balza y Virginia Snyder y forma parte de una agenda de trabajo que busca apoyar el fortalecimiento de la capacidad de gestión estratégica regional para el desarrollo de la industria del litio, poniendo especial énfasis en la superación de los desafíos de productividad, sostenibilidad y de generación de valor presentes a lo largo de la cadena de valor del litio.

**Para más información contacte a:**

Lenin H. Balza ( [leninb@iadb.org](mailto:leninb@iadb.org)) y Virginia Snyder ( [virginias@iadb.org](mailto:virginias@iadb.org))

Banco Interamericano de Desarrollo - BID - 2019

# LITIO EN LA ARGENTINA

Oportunidades y desafíos para el desarrollo de

## LA CADENA DE VALOR



### CONTENIDO

Tabla de Gráficos

Tabla de Cuadros.

Tabla de Figuras.

Acrónimos, siglas, abreviaciones y unidades de medida.

Agradecimientos.

<b>Introducción</b> .....	<b>- 11</b>
<b>1. Industrias extractivas y desarrollo económico: marco conceptual y políticas públicas</b> .....	<b>- 22</b>
1.1 La especificidad de las industrias extractivas	
1.2 Industrias extractivas, eslabonamientos y desarrollo tecnológico	
1.3 Experiencias internacionales de promoción de eslabonamientos basados en industrias extractivas	
<b>2. La Argentina en el escenario global del litio: breve reseña</b> .....	<b>- 35</b>
<b>3. El litio aguas arriba: exploración, extracción y producción</b> .....	<b>- 41</b>
<b>3.1 Recursos, reservas y producción: el escenario internacional</b>	
3.1.1 Fuentes y procesos de extracción	
3.1.2 Producción	
3.1.3 Tecnologías de extracción	
3.1.4 Usos del litio	
3.1.5 Proyecciones	
<b>3.2 La exploración y operación de salares de litio en la Argentina</b>	
3.2.1 Tecnologías de extracción	
3.2.2 Explotación integral de los salares	
3.2.3 Sustentabilidad de los salares	
3.2.4 Eslabonamientos productivos	
<b>4. El litio aguas abajo: hacia la producción de baterías</b> .....	<b>- 66</b>
<b>4.1 El escenario internacional</b>	
4.1.1 Derivados y productos en base a litio	
4.1.2 Las baterías de ion-litio, tipos y usos	

4.1.3 La cadena de valor de las baterías de ion-litio

## 4.2 Producción de baterías y derivados de litio en la Argentina

4.2.1 Productos en base a litio

4.2.2 Baterías y sus componentes (material activo, celdas)

4.2.3 Desafíos que presenta el proyecto de fabricación local de baterías

## 5. Experiencias internacionales de política ..... - 106

5.1 Chile

5.2 Bolivia

5.3 Unión Europea

## 6. Análisis de las oportunidades y obstáculos para el desarrollo de eslabonamientos ..... - 120

6.1 Procesos de extracción y procesamiento del litio

6.2 Proyectos locales de industrialización

6.3 Fortalecimiento de los sistemas de innovación nacional y regionales

## 7. Reflexiones finales ..... - 137

## 8. Bibliografía ..... - 147

ANEXO I. Entrevistas realizadas durante el trabajo de campo

ANEXO II. Proyectos de litio en desarrollo en la Argentina

ANEXO III. Comunicado de prensa del grupo K.R.ENERGY S.p.A. sobre “la carta de intención de JEMSE”

ANEXO IV. Principales hitos de la historia del desarrollo del litio en Chile

ANEXO V. Principales hitos de la historia del desarrollo del litio en Bolivia

## TABLA DE GRÁFICOS

**Gráfico 1.** Distribución de los recursos total de litio en salares de Argentina (mn de tonelada LCE; 2017)

**Gráfico 2.** Participación de las exportaciones de cloruro y carbonato de litio en las exportaciones de las provincias productoras (2010 – 2016)

**Gráfico 3.** Evolución de valor (eje izquierdo) y precio medio (eje derecho) por kg de exportaciones argentinas de carbonato de litio (FOB en USD) 2010 – 2017

**Gráfico 4.** Evolución de valor (eje izquierdo) y precio medio (eje derecho) por kg de exportaciones argentinas de cloruro de litio (FOB en USD) 2010 – 2017

**Gráfico 5.** Participación de las exportaciones cloruro y carbonato de litio en las exportaciones de Catamarca, Jujuy y Salta 2010 – 2016

**Gráfico 6.** Proyección de la capacidad de producción argentina de litio de acuerdo al MINEM (en miles de tn, LCE)

**Gráfico 7.** Distribución de las reservas de litio según tipo de depósito

**Gráfico 8.** Distribución geográfica de las reservas de litio del mundo (en miles de tn)

**Gráfico 9.** Distribución de la producción mundial estimada de litio (LCE) por país (2017)

**Gráfico 10.** Principales productores de litio (2015)

**Gráfico 11.** Distribución del consumo de litio por usos (2016)

**Gráfico 12.** Consumo mundial de litio para baterías y otros usos (2008-2016; en tn de LCE)

**Gráfico 13.** Proyección global de la demanda total de litio 2018-2025 (en tn LCE)

**Gráfico 14.** Proyección de demanda global de litio para baterías recargables 2018-2025 (en tn de LCE)

**Gráfico 15.** Mercado global de productos de litio (2015)

**Gráfico 16.** Evolución de las exportaciones mundiales de carbonato de litio (eje izquierdo, valor FOB en USD mn) y del precio medio por kg de exportaciones (eje derecho) (2010-2017)

**Gráfico 17.** Participación de los principales exportadores de carbonato de litio (2010-2016)

**Gráfico 18.** Participación de los principales importadores de carbonato de litio (2010-2016)

**Gráfico 19.** Evolución de las exportaciones mundiales de óxido e hidróxido de litio (eje izquierdo, valor FOB en USD mn) y del precio medio por kg de exportaciones (eje derecho) (2010 – 2016)

**Gráfico 20.** Participación de los mayores países exportadores de óxido e hidróxido de litio (2010-2016)

**Gráfico 21.** Participación de los mayores países importadores de óxido e hidróxido de litio (2010-2016)

**Gráfico 22.** Reservas mundiales de grafito natural en 2016, por país (en 1.000 tn)

**Gráfico 23.** Principales países productores de grafito natural en 2016 (en 1.000 tn)

**Gráfico 24.** Producción mundial de silicio 2010-2016 (en 1.000 tn)

**Gráfico 25.** Participación de las principales empresas fabricantes de celdas para baterías de ion-litio en 2015

**Gráfico 26.** Importaciones de óxido e hidróxido de litio en la Argentina (valor CIF en USD mn; 2008-2017)

**Gráfico 27.** Evolución (izquierda: 2014; derecha: 2018) de las fuentes de ingresos de FMC Corporation (división litio)

**Gráfico 28.** Crecimiento de la producción de distintas explotaciones de litio a partir de salares durante los tres primeros años

## TABLA DE CUADROS

**Cuadro 1.** Empleo provincial privado registrado por ramas de actividad y explotación de minas y canteras con sus sub-ramas (segundo trimestre de 2017)

**Cuadro 2.** Taxonomía de eslabonamientos

**Cuadro 3.** Factores que afectan el desarrollo de eslabonamientos

**Cuadro 4.** Selección de políticas adoptadas en América Latina para el desarrollo de eslabonamientos y actividades de innovación en las industrias extractivas

**Cuadro 5.** Oferta proyectada de carbonato de litio desagregada por productor (tn de LCE, años seleccionados)

**Cuadro 6.** Clasificación de usos de baterías y ejemplos

**Cuadro 7.** Principales empresas en la cadena de valor de baterías (2015)

**Cuadro 8.** Participación de las empresas líderes en la oferta mundial de material activo de cátodo (2016)

**Cuadro 9.** Empresas europeas con producción de baterías de litio

**Cuadro 10.** Producción de baterías y sus componentes

**Cuadro 11.** Estructura de costos promedio de la batería de ion-litio

**Cuadro 12.** Comparación de las condiciones contractuales con SQM antes y luego de la renegociación

**Cuadro 13.** Proyectos presentados para el desarrollo de productos basados en litio en Chile

**Cuadro 14.** Actores europeos en la cadena de valor de baterías

**Cuadro 15.** Principales iniciativas relevadas relacionadas con litio

**Cuadro 16.** Proyectos locales identificados en relación al litio

**Cuadro 17.** Análisis de barreras a la entrada en la cadena de valor del litio

## TABLA DE FIGURAS

**Figura 1.** Flujo de producción de compuestos de litio a partir de salares y agua de mar

**Figura 2.** Productos de litio, derivados y usos

**Figura 3.** Esquema de una batería de ion-litio

**Figura 4.** Cadena de valor simplificada en la fabricación de baterías

**Figura 5.** Distribución geográfica de la cadena del litio de FMC

**Figura 6.** Unidades de negocio del Grupo SERI vinculadas al litio

**Figura 7.** Áreas y fases del plan de negocios del Grupo SERI en el “Proyecto Litio”

## ACRÓNIMOS, SIGLAS, ABREVIACIONES Y UNIDADES DE MEDIDA

**Ah:** amperio hora.

**ANPCyT:** Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica

**BCB:** Banco Central de Bolivia.

**BEI:** Banco Europeo de Inversiones.

**CAPEX:** capital expenditure.

**CChEN:** Comisión Chilena de Energía Nuclear.

**CEFEN:** Centro de Física y Energía (Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Catamarca, Argentina).

**CICYT MAT-REB:** Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales y Recursos Evaporíticos de Bolivia.

**CIDMEJU:** Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (Argentina).

**CIDYP:** Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje (Bolivia)

**CIECTI:** Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (Argentina).

**CIF:** cost insurance and freight.

**CIRESU:** Complejo Industrial de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni (Bolivia).

**CITCA:** Centro de Investigaciones y Transferencia de Catamarca (CONICET, Argentina).

**CODELCO:** Corporación Nacional del Cobre (Chile).

**COFEMIN:** Consejo Federal de Minería (Argentina).

**COMIBOL:** Corporación Minera de Bolivia.

**CONICET:** Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Argentina).

**CONICYT:** Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (Chile).

**CORFO:** Corporación de Fomento de la Producción de Chile.

**CNEA:** Comisión Nacional de Energía Atómica (Argentina).

**CyT:** Ciencia y Tecnología.

**EBRE:** Empresa Boliviana de Recursos Evapo-



ríticos.

**eCAIMAN:** Electrolyte, Cathode and Anode Improvements for Market-near Next-Generation Lithium Ion Batteries.

**EDP:** Energy Demo Projects.

**EIT:** Instituto Europeo de Innovación y Tecnología.

**EUR:** euros.

**FAMAF:** Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación. (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

**FITR:** Fondo de Innovación Tecnológica Regional.

**FOB:** free on board.

**FONARSEC:** Fondo Argentino Sectorial.

**FRUTCAS:** Federación Regional Única de Trabajadores Campesinos del Sudoeste Potosino (Bolivia).

**GNRE:** Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (Bolivia).

**GWh:** gigawatt hora.

**ha:** hectáreas.

**HEV:** vehículos eléctricos híbridos.

**IFEG:** Instituto de Física Enrique Gaviola (CONICET, Argentina).

**IGG:** Instituto de Investigación Geológicas (Chile).

**INFIQC:** Instituto de Investigaciones en Físico-Química (CONICET, Argentina).

**INIFTA:** Instituto de Investigaciones Físico-químicas Teóricas y Aplicadas (Universidad Nacional de La Plata, Argentina).

**INQUIMAE:** Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía. (Universidad de Buenos Aires/CONICET, Argenti-

na).

**INTI:** Instituto Nacional de Tecnología Industrial (Argentina).

**ITER:** International Thermonuclear Experimental Reactor.

**JEMSE:** Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (Argentina).

**KIC:** Knowledge and Innovation Community (Europa).

**km:** kilómetros.

**KOH:** hidróxido de potasio.

**kWh:** kilowatt hora.

**LCE:** carbonato de Litio Equivalente.

**LCO:** óxido de Cobalto -Litio.

**LCT:** litio-cesio-tántalo.

**LFP:** litio-ferrofosfato.

**LMO:** litio-manganeso-espinela.

**LTO:** litio-titanato.

**m:** metros.

**mn:** millones

**MARS-EV:** Materials for Ageing Resistant Lithium Ion Energy Storage for the Electric Vehicle.

**MeLICA:** Moto Eléctrica Litio Catamarca.

**MINCyT:** Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Argentina).

**MINEM:** Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina.

**MIT:** Massachusetts Institute of Technology.

**mW:** megawatt.

**mWh:** megawatt hora.

**NCA:** litio-níquel-cobalto-aluminio.

**NMC:** litio-níquel-manganeso-cobalto.

**OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

**OPEX:** operational expenditure.

**ORSTOM:** Office de la Recherche Scientifique Technique Outre Mer (Francia)

**P-HEV:** vehículos eléctricos híbridos enchufables.

**PNUD:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

**PROCER:** Programa de Competitividad de Economías Regionales (Ministerio de la Producción de la Nación Argentina).

**SA:** sociedad anónima.

**SCL:** Sociedad Chilena de Litio Ltda.

**SEGEMAR:** Servicio Geológico Minero Argentino.

**SINAP:** Shanghai Institute Of Applied Physics (China).

**SLI:** Start, Light, Ignition.

**TIC:** tecnologías de la información y las comunicaciones.

**tn:** tonelada métrica.

**UATF:** Universidad Tomás Frías de Potosí (Bolivia)

**UE:** Unión Europea.

**UMSA:** Universidad Mayor de San Andrés (Bolivia)

**UNJU:** Universidad Nacional de Jujuy (Argentina).

**UPS:** fuentes de energía para interrupciones.

**USD:** dólares estadounidenses.

**USGS:** U.S. Geological Service.

**UTE:** unión transitoria de empresas.

**W:** Watt.

**Wh:** Watt hora.

**YLB:** Yacimientos de Litio Boliviano.

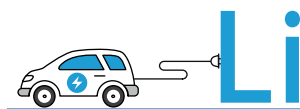
**YPF:** Yacimientos Petrolíferos Fiscales (Argentina).

**₳:** pesos argentinos.

## AGRADECIMIENTOS

Las ideas preliminares para la elaboración de este estudio fueron presentadas en el seminario co-organizado por el gobierno de la provincia de Jujuy, el entonces Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en San Salvador de Jujuy, el 29 de noviembre de 2017. Desde entonces, se realizaron entrevistas y se discutieron los avances del trabajo con un amplio número de expertos, lo que ha permitido expandir la información recolectada y facilitar la interpretación de la misma (la lista completa se encuentra en Anexo I). Los resultados del primer borrador del documento fueron presentados y discutidos en un taller organizado por el MINCYT y el BID, que tuvo lugar el 12 de junio de 2018, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Esta jornada convocó a más de 80 participantes, cuyos comentarios fueron considerados en la elaboración de la versión final del estudio.

Los autores agradecen a las personas consultadas y a los participantes de las reuniones mencionadas la disposición a colaborar, y asumen, como es usual, la total responsabilidad por los contenidos del documento. Finalmente, los autores agradecen especialmente el apoyo brindado a lo largo del proceso por parte de Agustín Campero, Secretario de Articulación Científico Tecnológica de la Secretaría de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, y de Florencia Barletta, su jefa de gabinete, así como también de Virginia Snyder y Lenin Balza, por parte del BID.



# INTRODUCCIÓN

Aunque se trata de un elemento relativamente abundante, en los últimos años el litio se ha convertido en uno de los recursos que más interés despierta en el mundo<sup>1</sup>, tanto entre las empresas vinculadas con las industrias extractivas o la química – que ven allí una oportunidad atractiva de negocios–, como entre los países que poseen reservas y que aspiran a atraer inversiones y generar eslabonamientos productivos.

Por su parte, quienes utilizan el metal como insumo para sus procesos productivos necesitan garantizarse una provisión a la altura del crecimiento de sus actividades, de ahí que en muchos casos se asocien con empresas especializadas en las fases de extracción y procesamiento inicial.

Está claro que la demanda ha generado las condiciones para el actual ciclo ascendente del metal. Si bien el litio se utiliza desde hace décadas en distintas actividades industriales –como la fabricación de cerámicas, vidrios, caucho sintético y lubricantes; en la industria del aluminio o la elaboración de medicamentos–, su crecimiento explosivo se debe a que se convirtió en un insumo crucial para la fabricación de las baterías de “ion-litio”<sup>2</sup>.

Si bien durante los años noventa eran los fabricantes de electrónica de consumo (como celulares y computadoras) los grandes usuarios de este elemento químico, en los últimos tiempos el crecimiento de su demanda proviene de los fabricantes de baterías para vehículos eléctricos (automóviles, autobuses, motos y bicicletas) y, más incipientemente, para el almacenamiento de energías renovables. Según los analistas, estos nuevos usos apuntalarán el crecimiento sostenido de la demanda en los próximos años<sup>3</sup>.

## El triángulo del litio

La Argentina es uno de los países que más podría beneficiarse con el creciente interés por este recurso: junto con Bolivia y Chile integra el “triángulo del litio”. Se trata de una región que posee salares con niveles de concentración que hacen que su explotación sea sumamente rentable en relación a otros depósitos. Según datos de 2018 del Servicio Geológico



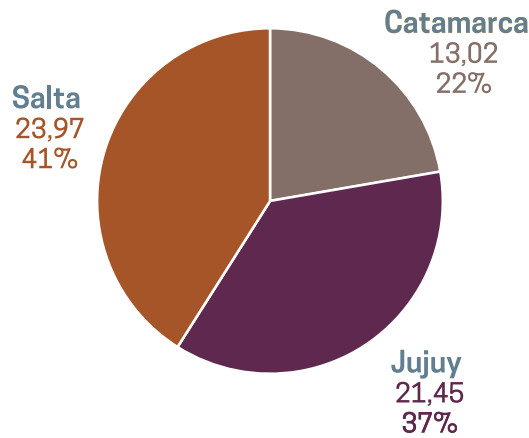
<sup>1</sup> El litio ocupa la posición 25 en el ranking de elementos más abundantes de la Tierra. Se encuentra en más de 150 minerales, entre los que se incluyen arcillas, salares continentales, aguas geotermales y agua de mar (Flexer et al., 2018). Sin embargo, solo en pocos depósitos se encuentra en niveles de concentración adecuados para su explotación (con la tecnología disponible al presente). El litio fue reconocido como un elemento en 1817, cuando el químico sueco Johann Arfvedson analizó la petalita. Fue aislado por primera vez en cantidades útiles en 1855, y en 1869 Dmitri Mendeleev lo colocó junto al sodio, con los metales alcalinos, en su tabla periódica de elementos. Con el símbolo químico Li y un número atómico de 3, el litio es el primer metal en la tabla periódica. Tiene una gravedad específica de 0,534, es aproximadamente la mitad de denso que el agua y el más liviano de todos los metales, además de ser el más electropositivo. En su forma elemental pura es blando y de color blanco plateado, pero es altamente reactivo y, por lo tanto, nunca se lo encuentra como un metal en la naturaleza. El litio tiene una concentración promedio de 20 partes por millón en la corteza continental de la tierra. Es más abundante que algunos de los metales más conocidos, como el estaño y la plata, y aparece en la mayoría de las rocas como un oligoelemento (USGL, 2014).

de los Estados Unidos (USGS), alrededor del 67% de las reservas probadas de litio, y cerca de la mitad de la oferta global, se concentra en esa región.

La Argentina cuenta con 1/7 de las reservas, lo que la ubica en la cuarta posición global, y aporta cerca de 1/6 de la producción total, lo que la coloca en la tercera posición en el ranking mundial<sup>4</sup>. El USGS también destaca que la Argentina es el país con mayor cantidad de “recursos” con potencial valor económico, aunque no de probada factibilidad y rentabilidad, con algo más del 20% del total mundial. El litio disponible allí está concentrado mayormente en tres provincias: Catamarca, Jujuy y Salta (Gráfico 1). Hasta el momento, hay solo dos emprendimientos en fase operativa a escala industrial, uno en Catamarca (en marcha desde 1998), y otro en Jujuy (en marcha desde 2015), aunque hay varios más en etapa de desarrollo<sup>5</sup>.

**Gráfico 1.** Distribución de los recursos de litio en salares de Argentina (mn de toneladas LCE, 2017)

Fuente: MINEM (2017b)



Pero no solo las condiciones naturales parecen beneficiar a la Argentina sino que, como se analizará con mayor detalle a lo largo de este estudio, el marco normativo es, en relación a sus vecinos del triángulo, particularmente favorable para la llegada de inversiones orientadas a la explotación de los salares. Como consecuencia, los analistas coinciden en que la Argentina tiene potencial para convertirse en el principal productor mundial de carbonato de litio, por tomar el referente que comúnmente se utiliza para mensurar la productividad del sector.



<sup>2</sup> Martin et al., 2017, p. 28.

<sup>3</sup> Martin et al., 2017; Sanders, 2017.

<sup>4</sup> Aunque Bolivia es uno de los países con los mayores recursos de litio en el mundo, las reservas reales aún no han sido debidamente cuantificadas.

<sup>5</sup> Fuente: Ministerio de Energía y Minas (MINEM), 2017.



*La Argentina cuenta con 1/7 de las reservas de litio, lo que la ubica en la cuarta posición global, y aporta cerca de 1/6 de la producción total, lo que la coloca en la tercera posición en el ranking mundial.*

## Cuello de botella y oportunidades

Si bien en el mediano y largo plazo no se avizoran riesgos de agotamiento o escasez en la oferta de litio, lo cierto es que, en el corto plazo, no existe capacidad para acompañar el rápido crecimiento de la demanda. Esto se debe, en gran medida, al lento proceso de puesta en marcha de las operaciones en los salares, que implica especialmente la técnica de extracción evaporítica que es actualmente la más difundida. El período que comprende las actividades de exploración, las pruebas piloto, la construcción de pozas, la instalación de plantas de procesamiento y la calibración de los procesos necesarios para obtener el carbonato de litio puede demorar hasta diez años. En el caso de otras fuentes, como las rocas pegmatíticas, los tiempos pueden ser más breves, pero los costos operativos, más elevados.

La lentitud para ampliar la capacidad de producción se ha traducido en un aumento significativo de los precios negociados entre las empresas que elaboran distintos productos de litio con aplicación industrial –i.e. carbonato, cloruro, hidróxido– y los usuarios del recurso<sup>6</sup>. Este “cuello de botella” ha motivado el interés por desarrollar nuevas tecnologías que permitan acortar los tiempos necesarios para comenzar la explotación de los salares, reducir los costos operativos –especialmente, en el caso de las explotaciones a partir de rocas– e incluso volver rentable fuentes alternativas de explotación, como los depósitos hidrotermales o el incipiente desarrollo de tecnologías de recuperación de fuentes secundarias, como por ejemplo, el reciclado de baterías<sup>7</sup>.

En este escenario, los gobiernos de los países –o provincias, en el caso de regímenes federales como el argentino<sup>8</sup>– donde el litio presenta condiciones atractivas pretenden aprovechar la oportunidad para generar iniciativas con impacto positivo sobre la sociedad y evitar la llamada “maldición de los recursos naturales”<sup>9</sup>. Esta visión se encuentra profundamente arraigada en regiones que están relativamente atrasadas y que no han logrado beneficiarse de su abundante dotación de recursos naturales. Las vías a través de las cuales se pretenden canalizar los efectos virtuosos de la explotación del recurso son múltiples: atracción de inversiones, aumento de las exportaciones, incremento de los recursos fiscales y creación de empleos mediante la localización de procesos productivos, entre otras.



<sup>6</sup> En la actualidad, no existen mercados spot o futuros para la compra-venta de litio. Los precios de los productos de litio publicados han sido tradicionalmente estimaciones sobre la base de información de contratos entre privados. En 2017, Benchmark Mineral Intelligence, que monitoreaba los precios para sus clientes, comenzó a publicar la información en Bloomberg y Thomson Reuters. London Metal Exchange, que provee servicios para la contratación de futuros en el mercado de metales, pretende desarrollar un mercado de futuros para el litio, que acompañe los ya creados para otros componentes de las baterías de ion-litio, como por ejemplo, cobalto, níquel, cobre y aluminio. Para más información se puede visitar el siguiente link: <https://www.lme.com/-/media/Files/New-initiatives/EVB/LME-Electric-Vehicles-Battery-Materials-presentation.pdf?la=en-GB>.

<sup>7</sup> Swain, 2017.

<sup>8</sup> Desde la reforma constitucional de 1994, en la Argentina el dominio originario de los recursos naturales pertenece a las provincias. Este es un rasgo distintivo del país respecto a sus vecinos del triángulo del litio, que poseen sistemas unitarios.

<sup>9</sup> Auty, 1990, 2001; Corden & Neary, 1982.

## ¿Oro blanco?

La prensa habla de “oro blanco” al referirse al litio. En este contexto resulta útil analizar algunos números para poner en perspectiva la comparación. En primer lugar, en relación a otros productos mineros como el oro y el cobre, el mercado del litio es casi insignificante. El volumen comercializado de oro en el mundo asciende a casi USD 125.000 mn, y el de cobre a USD 95.000 mn. El mercado del litio, en tanto, se ubica en torno a los USD 2.000 mn, con una proyección optimista de USD 7.700 mn para el año 2022<sup>10</sup>.

En segundo lugar, aun para la Argentina se trataría de una modesta fuente de divisas: un informe del entonces Ministerio de Energía y Minería de este país señala que las exportaciones de litio en 2016 llegaron a USD 190 mn y, en 2017, la cifra aumentó a USD 224 mn<sup>11</sup>. Si se concretan algunos de los proyectos en desarrollo, esa cifra podría escalar hasta USD 880 mn en los próximos años<sup>12</sup>. Sin embargo, estos valores no resultan significativos cuando se comparan con las exportaciones totales del país, que en 2017 rondaron los USD 58.000 mn, y tampoco son demasiado elevados dentro de la propia minería, cuyas exportaciones oscilan entre los USD 3.520 mn el mismo año. El flujo neto de divisas sería aún menor si se consideran las importaciones de bienes y servicios realizadas para la operatoria de los salares, y los dividendos y regalías girados al exterior por parte de las empresas concesionarias. Asimismo, dado el carácter de capital intensivo de los procesos mineros, tampoco se puede esperar un gran impacto en materia de empleo (más aún si se consideran las tendencias a la automatización en el sector)<sup>13</sup>. En síntesis, la influencia que la minería del litio tendría sobre los agregados nacionales sería muy limitada aunque, por supuesto, no despreciable en un país siempre urgido por la necesidad de inversiones, divisas y empleo.

No obstante, los proyectos de litio sí pueden representar un aporte relevante para las provincias que albergan los recursos que suelen ser, además, relegadas en términos de desarrollo, en especial en las zonas donde se encuentran los salares. Como se observa en el Cuadro 1, los niveles de empleo privado en el sector minero –que incluye otras actividades además del litio– son muy pequeños en Catamarca, Jujuy y Salta, no solo en términos relativos al empleo total, sino también absolutos. La operación de un salar con una capacidad anual de producción de 15.000/20.000 tn emplea de manera directa alrededor de 250 personas y, según ha señalado el presidente de la Cámara Minera de Jujuy, Franco Mignacco, el



<sup>10</sup> Fuente: MINEM (2017).

<sup>11</sup> Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de la República Argentina (INDEC). Incluye exportaciones de carbonato y cloruro de litio.

<sup>12</sup> Fuente: MINEM, 2017b.

<sup>13</sup> Cosby (2016) presenta estimaciones de impacto del avance de la automatización y plantea consecuentemente escenarios de reducción de la fuerza laboral del 30%, 50% y 70% en los proyectos mineros.

<sup>14</sup> Diario El Tribuno, 2018.

**Cuadro 1.** Empleo provincial privado registrado por ramas de actividad y explotación de minas y canteras con sus sub-ramas (segundo trimestre de 2017)

Ramas de actividad	Catamarca		Jujuy		Salta	
	Cantidad	Participación	Cantidad	Participación	Cantidad	Participación
Agricultura, ganadería, caza y sicultura	3.065	9%	6.242	11%	18.039	15%
Explotación de minas y canteras	<b>459</b>	<b>1%</b>	<b>1.812</b>	<b>3%</b>	<b>1.499</b>	<b>1%</b>
Extracción de petróleo crudo y gas natural	5	0,01%	s.d.	-	641	0,54%
Extracción de minerales metalíferos	s.d.	-	1.313	2,30%	15	0,01%
Explotación de otras minas y canteras	454	1,29%	499	0,87%	843	0,71%
Industria manufacturera	6.728	19%	12.460	22%	16.533	14%
Electricidad, gas y agua	490	1%	510	1%	1.014	1%
Construcción	3.001	9%	4.590	8%	11.349	10%
Servicios*	19.882	56%	31.297	55%	68.897	58%
<b>Total**</b>	<b>35.286</b>		<b>57.077</b>		<b>118.533</b>	

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos del Observatorio de Empleo y Dinámica Empresarial, Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social (MTEySS) y Sistema Integrado Previsional Argentino (SIPA).

Notas: \*En servicios se incluyen: comercio al por mayor y al por menor; hotelería y restaurantes; transporte, almacenamiento y comunicaciones; intermediación financiera y otros soportes financieros; prestaciones inmobiliarias, empresariales y de alquiler; enseñanza; asistencia social y sanitaria; servicios comunitarios y personales no clasificados previamente.

\*\*La sumatoria del empleo de las distintas actividades productivas no necesariamente coincide con el total de empleo de la provincia, ya que este incluye la cantidad de puestos de trabajo de aquellas actividades que no se publican para resguardar el secreto estadístico.

factor multiplicador de puestos indirectos se encuentra entre 2,5 y 3<sup>14</sup>.

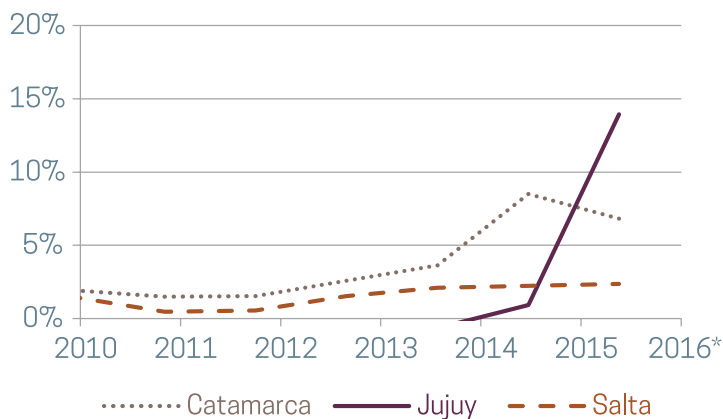
En contraste, el litio posee un peso importante en la estructura exportadora de dichas provincias, especialmente en el caso de Jujuy, donde ha llegado a representar el 16% de las exportaciones totales en 2016 (Gráfico 2). Estas cifras podrían incrementarse sensiblemente



*Si bien en el mediano y largo plazo no se avizoran riesgos de agotamiento o escasez en la oferta de litio, lo cierto es que, en el corto plazo, no existe capacidad para acompañar el rápido crecimiento de la demanda.*



**Gráfico 2.** Participación de las exportaciones de cloruro y carbonato de litio en las exportaciones de las provincias productoras (2010 – 2016)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC).  
Nota: \* datos provisionales a 2016.

te en las tres provincias si se concretan algunos de los proyectos actualmente en marcha.

Pero más allá de las divisas y empleos que pueda generar, resulta difícil pensar que en las condiciones actuales de explotación, la actividad litífera pueda convertirse en una plataforma que promueva un proceso virtuoso de cambio estructural en las economías provinciales. Como se discutirá a lo largo de este estudio, para lograrlo debería ser capaz de generar eslabonamientos más numerosos y complejos en términos tecnológicos.

Vale entonces preguntarse, desde una perspectiva de largo plazo, cuál sería la posible contribución del litio al desarrollo de estas regiones. Existe cierto consenso sobre la existencia de una “ventana de oportunidad” (algunos la sitúan en torno a los 20 años) para explotar la riqueza del litio disponible en la Argentina, ya que los pronósticos sugieren que, tarde o temprano, dicho material será reemplazado por otros o incluso por el reciclado de las baterías agotadas<sup>15</sup>. Esta preocupación podría sintetizarse en una pregunta: ¿Cómo lograr que la explotación de litio tenga impactos más allá de su vida útil como insumo dominante en el nuevo paradigma de una movilidad basada en la electricidad y el almacenamiento energético?



<sup>15</sup> MINEM, 2017b.

<sup>16</sup> Según Dietsche (2014), la pregunta que preveía en los '70s era “cómo atraer inversión extranjera” para explotar los recursos, mientras que hacia mediados de los '90s la principal preocupación pasaba por mejorar los impactos sociales, económicos y políticos de la explotación de los recursos extractivos –es decir, cómo evitar la “maldición de los recursos”.

Este interrogante forma parte del debate que, según Dietsche (2014), ha dominado la agenda política de los recursos naturales en países en desarrollo desde los 2000<sup>16</sup>. Las naciones que integran el triángulo del litio –y en la Argentina, en la provincia de Jujuy en particular–, han impulsado, mediante enfoques muy diversos, iniciativas que van más allá de la operación de los salares para obtener carbonato de litio. En general, el objetivo principal es promover mayores grados de industrialización, fomentar encadenamientos con proveedores locales y generar proyectos innovadores en torno a los procesos de extracción. En ocasiones, dichas iniciativas se vinculan con programas de promoción de energías renovables, aprovechando la “tracción” de la demanda que pueden generar. Estas estrategias se orientan, en definitiva, a utilizar este “tesoro enterrado” para poner en marcha procesos virtuosos que contribuyan al desarrollo socioeconómico de las regiones o países<sup>17</sup>.

En definitiva, se trata de crear mecanismos que permitan aprovechar la “ventana” que ofrece una dotación relativamente extraordinaria de un recurso de carácter crítico para crear eslabonamientos que generen capacidades productivas, tecnológicas, de gestión y comerciales que puedan difundirse a lo largo de la cadena de valor o, incluso, encontrar aplicación en otros sectores. Se podrían incluir aquí eslabonamientos intensivos en conocimiento que incluyan, por ejemplo, el desarrollo de materiales avanzados, de procesos químicos y electroquímicos complejos o de sistemas de acumulación de energía. También eslabonamientos locales de carácter menos sofisticado pero que sean novedosos para el entorno donde se realizan las explotaciones como, por ejemplo, la prestación de servicios de mantenimiento y logística.

## Triángulo de relaciones

Los gobiernos, en sus distintos niveles, son figuras centrales en la construcción de esla-



*¿Cómo lograr que la explotación de litio tenga impactos más allá de su vida útil como insumo dominante en el nuevo paradigma de una movilidad basada en la electricidad y el almacenamiento energético?*

<sup>17</sup> Bridge, 2008.

bonamientos, ya que cuentan con herramientas normativas para propiciarlos. Sin embargo, este proceso requiere alinear y articular los intereses y las acciones de las empresas que operan a lo largo de la cadena, tanto entre ellas como con los actores del sistema científico y tecnológico. Estos últimos generan conocimiento y desarrollos tecnológicos que pueden ser aprovechados luego por el sector privado y contribuir a que las firmas locales asuman roles más críticos dentro de la cadena. La necesidad de esta articulación era ya señalada por Sábato y Botana (1968), que se refirieron a ella como el “triángulo de relaciones entre gobierno, ciencia–tecnología y estructura productiva”. Más cerca en el tiempo, la literatura evolucionista la ha conceptualizado en la idea de “sistema de innovación”<sup>18</sup>.

No puede dejar de destacarse que la estrategia de construcción de eslabonamientos, así como la articulación de un “triángulo” que permita expandirlos, debe pensarse en el marco de una creciente fragmentación e internacionalización de los procesos de creación de valor y consumo, que ha dado lugar a las llamadas “cadenas globales de valor”<sup>19</sup> o “redes globales de producción”<sup>20</sup>. Esta realidad requiere extender el análisis desde la dimensión local al campo mundial, reconociendo como punto de partida que las industrias extractivas están dominadas por unas pocas empresas transnacionales y tienen elevadas barreras a la entrada, como consecuencia de las dificultades para acceder a la tecnología y a los altos costos de capital. De ahí que estas industrias ofrezcan limitadas oportunidades para establecer eslabonamientos locales o para desarrollar innovaciones que sean incorporadas en sus procesos de producción<sup>21</sup>, más allá de la tendencia de las empresas líderes a tercerizar las actividades que no forman parte de su *core business*<sup>22</sup>. Aquellas mismas restricciones se trasladan a las sucesivas fases de la cadena de producción en las que se agrega valor al recurso (por ejemplo, la batería). Es más: en estos eslabones se agudiza la competencia por costos con países que gozan de ventajas tanto de naturaleza estática –como los bajos costos laborales–, como dinámica, que les permiten dominar los mercados (caso notable, los países del Sudeste Asiático).

Asumiendo esta perspectiva, el presente documento se propone, sobre el análisis de lo que podríamos denominar la “cadena del litio”, examinar las oportunidades y restricciones que existen para la construcción de eslabonamientos productivos y tecnológicos de impacto positivo en la Argentina y, en particular, en las provincias en donde se localizan las reservas.



<sup>18</sup> Edquist, 2005; Freeman, 1987; Lundvall, 1992; Malerba, 2002; Nelson, 1993.

<sup>19</sup> Coe *et al.*, 2008; Gereffi *et al.*, 2005

<sup>20</sup> Coe *et al.*, 2008; Coe & Yeung, 2015..

<sup>21</sup> Bridge, 2008.

<sup>22</sup> Morris *et al.*, 2012. En efecto, tanto en la minería como en el petróleo se ha observado una creciente descentralización de actividades previamente desarrolladas por las empresas productoras hacia firmas especializadas que proveen servicios de exploración y testeo, diseño de equipamiento y procesos, servicios de perforación, manejo de proyectos, planeamiento, servicios ambientales, automatización, etc. (Urzúa, 2012; Sasson y Blomgren, 2011).

Con ese objetivo en mente, este documento apunta a:

**i** \_\_\_\_\_

Estudiar la conveniencia y posibles impactos de las iniciativas de innovación e industrialización en curso en la Argentina, considerando las capacidades locales y los desarrollos observados en el ámbito internacional.

**ii** \_\_\_\_\_

Identificar los mercados actuales y potenciales para la producción derivada del litio.

**iii** \_\_\_\_\_

Examinar las potencialidades para desarrollar proveedores competitivos vinculados a esta cadena de valor.

**iv** \_\_\_\_\_

Analizar experiencias internacionales de promoción de encadenamientos a partir de recursos minerales, particularmente los basados en el litio.

**v** \_\_\_\_\_

Sugerir recomendaciones de política tendientes a fomentar los desarrollos productivos y tecnológicos locales asociados a la cadena del litio.

## **Alcances del estudio y fuentes consultadas**

Conviene, antes de comenzar, mencionar algunas limitaciones del estudio. En primer lugar, debe señalarse que no constituye un documento de naturaleza técnica. Solo a los fines de establecer un contexto de análisis se han incluido descripciones técnicas accesibles al público no especializado. En segundo lugar, el estudio está, en gran medida, focalizado en la realidad de Jujuy, ya que es la provincia que ha motorizado proyectos de desarrollo productivo y tecnológico asociados al litio. El marco de análisis, sin embargo, podría ser extendido a los casos de Salta y Catamarca si decidieran avanzar por caminos similares. Finalmente, el estudio se concentra en el desarrollo de eslabonamientos en torno al litio. No se abordarán aquí otras cuestiones que son centrales para la “gobernanza” del recurso como, por ejem-

plo, el régimen fiscal, la legislación minera o las relaciones con las comunidades locales.

En la elaboración del informe se han utilizado distintas fuentes de información. Se entrevistó a 28 personas que, desde distintos ámbitos, desempeñan (o han desempeñado) un papel importante en el sector<sup>23</sup>. El análisis de las condiciones de mercado de la cadena de valor del litio se apoya, fundamentalmente, en informes elaborados por consultoras especializadas, en particular, Avicennes Energy (Pillot, 2017; Sanders, 2017) y el Deutsche Bank (2016). Asimismo, se han utilizado informes gubernamentales elaborados, entre otros organismos, por el Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina (MINEM, 2017b), el U.S. Geological Service (2018) y la Corporación de Fomento de la Producción de Chile (CORFO)<sup>24</sup>. Los reportes técnicos, anuarios, informes de prensa y comunicados para los inversores elaborados por las empresas del sector constituyeron otra valiosa fuente de datos. Finalmente, vale la pena destacar algunos trabajos publicados sobre el litio en la Argentina que han sido de consulta obligada para la elaboración de este estudio. En particular, nos referimos al trabajo coordinado por Bruno Fornillo (2015b), el informe elaborado por Andrés Castello y Marcelo Kloster (2015) –publicado por el Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI)– y, más recientemente, el trabajo colectivo coordinado por Enrique Baran, con un enfoque predominantemente técnico (Baran, 2017).

Para alcanzar los objetivos planteados, el trabajo se organiza del siguiente modo:

- . La primera sección introduce el marco analítico para estructurar la discusión acerca de los impactos de las industrias extractivas sobre el desarrollo local. Asimismo, presenta las dimensiones centrales de política asociadas a dichos impactos, con énfasis en los casos de América Latina.
- . La segunda sección describe brevemente la situación y las proyecciones para la Argentina en el mercado de litio, así como los principales actores del sector.
- . La tercera sección examina las etapas de exploración, extracción y procesamiento inicial del litio, tanto en el contexto global como en los desarrollos observados en el caso argentino.
- . La cuarta sección hace lo propio para las etapas “aguas abajo” en la cadena de valor, con particular foco en las baterías.



<sup>23</sup> Las entrevistas tuvieron lugar en la provincia de Jujuy y en la ciudad de Buenos Aires entre febrero y agosto de 2018. En Anexo I se puede encontrar el detalle de las personas entrevistadas. A los fines de mantener la confidencialidad de las entrevistas, en el informe no se han incluido referencias sobre la fuente de la información incluida. En general, se ha optado por utilizar expresiones del tipo “según las personas entrevistadas”

<sup>24</sup> CORFO, dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, es la agencia del Gobierno de Chile a cargo de apoyar el emprendimiento, la innovación y la competitividad en el país. Fue fundada en 1939.

. La quinta sección discute algunas experiencias internacionales de política en torno a la extracción y producción de litio y sus derivados.

. La sexta sección analizan las oportunidades y obstáculos de las iniciativas que buscan construir eslabonamientos en torno al litio en la Argentina.

. La sección siete resume las conclusiones del trabajo.



## 1

# INDUSTRIAS EXTRACTIVAS Y DESARROLLO ECONÓMICO: MARCO CONCEPTUAL Y POLÍTICAS PÚBLICAS


## 1.1. La especificidad de las industrias extractivas

No hay una relación determinista entre una especialización intensiva en actividades extractivas y los niveles de desarrollo alcanzados por un país. Una de las economías más ricas del mundo y la primera en el Índice de Desarrollo Humano que elabora el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Noruega, es uno de los siete países con mayor abundancia de activos del subsuelo per cápita en todo el planeta (Lange et al., 2018). En otro extremo, varias de las economías más pobres y con menores niveles de desarrollo humano, mayormente localizadas en África, también son fuertemente dependientes de sus recursos extractivos, en especial en lo que se refiere a la generación de divisas y recursos fiscales.

En años recientes, la investigación académica ha mejorado su caracterización de los factores que están detrás de esta divergencia de resultados, lo que le ha permitido refinar el análisis (y, consecuentemente, la formulación) de estrategias para que la abundancia relativa de recursos extractivos se traduzca en progresos sustantivos en el camino hacia el desarrollo sostenible e inclusivo (Bastida, 2014; Dietsche, 2014; Kaplinsky et al., 2012; Lorentzen, 2006, 2008; Morris et al., 2012). Numerosos trabajos nos muestran que el aprovechamiento de estos recursos es una tarea compleja y multidimensional, que involucra aspectos económicos y tecnológicos, pero también –y, quizás, principalmente– políticos.

Las industrias extractivas se distinguen no solo de las industrias manufactureras o los sectores de servicios, sino también del resto de las actividades basadas en recursos naturales, por una serie de características específicas (CEPAL, 2016; Gómez Sabaini et al., 2015; Halland et al., 2015).

- Operan con recursos de carácter no renovable –cuyo stock se va agotando en el



---

<sup>25</sup> Eventualmente este stock se puede regenerar por la propia acción de la naturaleza, pero ese proceso conlleva casi siempre períodos geológicos enormes.

tiempo<sup>25</sup>.

- La explotación de los recursos se produce en lugares específicos y delimitados del espacio terrestre, a los que modifica de manera profunda y permanente.

- La propiedad de los recursos del subsuelo está generalmente en manos del Estado, aunque su explotación puede ser hecha por empresas públicas, privadas o a través de actores de naturaleza mixta.

- La actividad extractiva requiere, en general, grandes inversiones iniciales (son actividades capital intensivas), asociadas a la exploración del subsuelo y al diseño, construcción y puesta en marcha de los proyectos de explotación. La recuperación de esas inversiones requiere períodos largos y está sujeta a una elevada incertidumbre derivada de: i) la elevada volatilidad de los precios de los recursos extractivos; ii) la falta de precisión sobre los niveles potenciales de producción en las zonas a explorar y acerca de la evolución futura de los costos de producción; y iii) el riesgo político proveniente del posible cambio en las “reglas de juego” durante la vida útil de los proyectos. En este sentido, hay asimetrías de información en cuanto a la estructura de costos y los aspectos técnicos del negocio (en favor del inversor-productor) y en lo que hace a las intenciones y decisiones políticas futuras (en favor del gobierno).

- Esta actividad genera rentas sustanciales (diferencias entre precios corrientes y costos de producción), lo cual lleva frecuentemente a disputas en torno a su apropiación y uso, en especial en las fases altas del ciclo de precios.

- La naturaleza altamente concentrada de la propiedad de estos recursos hace que algunos productores (países o empresas) tengan un fuerte poder de mercado a nivel internacional. Adicionalmente, existen barreras a la entrada asociadas a las elevadas inversiones en capital y a la disponibilidad de capacidades tecnológicas sofisticadas para la exploración y explotación de los recursos respectivos. Consecuentemente, no sorprende que a nivel global el sector esté dominado por empresas multinacionales<sup>26</sup> que, muchas veces, están verticalmente integradas.

- En la medida en que la explotación de los recursos extractivos tiene importantes consecuencias ambientales y sociales a nivel local, se plantean intensos conflictos sobre la responsabilidad de identificación, cuantificación y reparación de los costos generados.

Tomando en cuenta este conjunto de factores, queda claro que los mecanismos de gobier-




---

<sup>27</sup> Si bien la mayoría de estas firmas tiene sede en naciones desarrolladas, en años recientes han surgido grandes multinacionales extractivas provenientes de países como Brasil, China, India, México y Rusia (CEPAL, 2016).



no y diseños institucionales asociados desempeñan un papel fundamental en la determinación del impacto potencial de las actividades extractivas sobre los procesos de desarrollo. Queda aquí comprendida la necesidad de contar con personal capacitado y mecanismos eficientes de captura, procesamiento y análisis de la información, así como la importancia de establecer esquemas adecuados de coordinación entre las distintas áreas involucradas –gubernamental, empresarial, académica– y al interior de cada una de ellas. Asimismo, resulta necesario generar las condiciones para que las decisiones y negociaciones asociadas a la explotación de los recursos tengan el máximo nivel de transparencia, lo que contribuye a elevar la eficiencia regulatoria, reducir la corrupción, fomentar el mejor uso de las rentas y mejorar la relación entre gobierno y ciudadanos (Vieyra et al., 2014). También es importante diseñar mecanismos que permitan la participación de las distintas partes interesadas o afectadas por la actividad.

A la vez, el proceso de toma de decisiones (públicas y privadas) en las industrias extractivas asume niveles de complejidad elevados. En particular, desde el punto de vista del gobierno (y la sociedad) aparecen consideraciones de equidad intra- e inter-generacional, así como también de sustentabilidad fiscal y ambiental a largo plazo. El análisis de estos factores requiere el uso de sofisticados herramientas teóricas y metodológicas, que enfrentan, sin embargo, límites por la falta de previsibilidad acerca de los cambios en la demanda y de los precios de los recursos extractivos (y, consecuentemente, del nivel de las rentas asociadas a estos). Estos desafíos se reflejarán con claridad en el estudio, en particular cuando se analicen las opciones disponibles en el caso argentino para la cadena del litio.

## 1.2. Industrias extractivas, eslabonamientos y desarrollo tecnológico

Existe una larga tradición de debate académico acerca de las relaciones entre recursos naturales y desarrollo que, como se ha mencionado, no ha logrado identificar una relación lineal o determinista entre ambas variables<sup>28</sup>. Lederman y Maloney (2012) han sintetizado estos resultados señalando que lo importante no es qué se produce, sino cómo se produce, ya que esto es lo que define las posibilidades de generar derrames de conocimiento y encadenamientos.

Una de las cuestiones que esta discusión ha dejado cada vez más en claro es que la explotación de recursos naturales no renovables dista de ser una actividad de bajo dinamismo tecnológico. No solo sabemos que en el siglo XIX la explosión de la minería gatilló la emergencia de las primeras instituciones científico-tecnológicas en países como Estados Unidos (Nelson & Wright, 1992)<sup>29</sup> o Australia (Fogarty & Seibert, 1977). La propia emergencia de la gran riqueza mineral de los Estados Unidos no surgió como un mero regalo de la naturaleza, sino que involucró un proceso de aprendizaje colectivo que incluyó inversiones a gran escala en materia de conocimiento geológico y tecnologías de extracción, refinamiento y uso de los minerales, así como la formación de capital humano especializado (David & Wright, 1997). Lo mismo vale para el presente. Cosbey (2016), por ejemplo, documenta los distintos tipos de avances tecnológicos en marcha en la minería, asociados fundamentalmente a la automatización y al uso cada vez más intenso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), esenciales para descubrir nuevas fuentes de recursos, aumentar los niveles de eficiencia en los procesos de exploración y explotación y reducir los daños ambientales causados por sus operaciones.

De hecho, una parte sustancial de los efectos sistémicos generados por las industrias extractivas se canaliza a través de los procesos de generación, adopción y difusión de innovaciones, así como por los encadenamientos que aquellas industrias motorizan. En el primer caso, los cambios tecnológicos pueden ayudar tanto a mejorar la eficiencia y reducir los impactos indeseables de estas industrias (en el plano ambiental, por ejemplo), como a producir derrames de conocimiento a través de procesos de imitación y difusión, el establecimiento de redes de innovación, la cooperación con proveedores, clientes y organismos científico-tecnológicos, la movilidad del personal, etc. En el segundo caso, los encadenamientos generados por las industrias extractivas pueden contribuir a elevar sus impactos en materia de empleo o nivel de actividad, así como a diversificar las economías a través del desarrollo de proveedores de bienes y servicios o la industrialización de las materias primas



<sup>28</sup> Para una discusión reciente sobre el tema, ver el número especial de *Innovation and Development* editado por Andersen et al. (2018).

<sup>29</sup> *The US Geological Survey was the most ambitious and successful government science project of the nineteenth century*" (Nelson & Wright, 1992, p. 1938).

respectivas (Halland et al., 2015; López, 2017; Morris et al., 2012; Venables, 2016)

En base al trabajo seminal de Hirschman (1977), varios autores han buscado identificar los distintos tipos de eslabonamientos que pueden generarse a partir de las industrias extractivas, buscando comprender su dinámica, sus impactos sobre el desarrollo y las herramientas necesarias para promoverlos (Kaplinsky et al., 2012; Lorentzen, 2006, 2008; Morris et al., 2012; UNECA, 2011). La taxonomía propuesta, que se sintetiza en el Cuadro 2, ofrece un marco conceptual útil para el análisis del presente caso de estudio.

Cada uno de estos eslabonamientos puede, a su vez, ser clasificado según su amplitud y profundidad. En los eslabonamientos hacia atrás, la primera dimensión se refiere al rango de insumos utilizados en la actividad extractiva, mientras que la profundidad alude al valor agregado local de esos insumos, toda vez que una parte de ellos puede ser de naturaleza importada. En el campo de los eslabonamientos hacia adelante, la amplitud se refiere a la diversidad de usuarios que hacen uso del recurso, mientras que la profundidad, al igual que en el caso anterior, indica el grado de valor agregado local incorporado.

**Cuadro 2. Taxonomía de eslabonamientos**

Tipo de eslabonamiento		Descripción
Fiscal		A partir de la recaudación impositiva y de las regalías generadas por el sector, el gobierno promueve el desarrollo de actividades que no se vinculan con el recurso natural.
Consumo		Los mayores ingresos generados por la industria extractiva generan demanda de productos elaborados por otros sectores productivos.
Productivo	Hacia atrás	Insumos y procesos desarrollados para la producción del recurso.
	Hacia adelante	Procesamiento y transformación del recurso.
	Horizontales (o laterales o de conocimiento)	El conocimiento, los bienes de capital y los servicios asociados al sector de recursos naturales son utilizados en áreas que no están directamente vinculadas con dicho sector.

Fuente: elaboración propia en base a Lorentzen (2008), Lorentzen (2006) y Morris et al. (2012).

Desde la perspectiva aquí presentada, el camino del desarrollo en base a recursos naturales se presenta como un fenómeno incremental en el que se van generando eslabonamientos entre actividades vinculadas económicamente. De acuerdo a Hirschman (1977), los eslabonamientos productivos –que incluyen a los de naturaleza científico-tecnológica– son aquellos con mayor capacidad para construir un proceso de estas características. Los de tipo fiscal, según dicho autor, presentan dificultades tanto por el lado de la recaudación como por la del uso de los recursos, puesto que no es sencillo invertirlos de manera productiva en sectores sobre los que las economías en desarrollo en general no tienen capacidades acumuladas. Asimismo, en referencia a los eslabonamientos de consumo, Hirschman (1977) consideraba que no era seguro que el aumento de ingresos en el sector extractivo se canalizara hacia una demanda de bienes y servicios generados localmente; por el contrario, en estructuras productivas poco diversificadas, era más probable que ello derivara en un aumento de las importaciones.

Una de las ventajas de los eslabonamientos de tipo productivo frente al resto radica en su relación directa con el sector de recursos naturales. Dentro de este grupo, siempre según Hirschman (1977), los eslabonamientos hacia atrás tienen mayor potencial de desarrollo porque se vinculan con sectores que son tecnológicamente más cercanos a los actores que operan en las industrias basadas en recursos naturales; en cambio, los eslabonamientos hacia adelante, que involucran el procesamiento de los recursos, a menudo utilizan tecnologías que son menos familiares para los actores locales.

La idea de que el mayor potencial radica en los eslabonamientos productivos hacia atrás contradice el saber convencional y las preferencias de política dominantes, tal como señalan Morris et al. (2012). De hecho, desconociendo la evidencia que ofrece la experiencia de aquellos países que han logrado desarrollarse a partir de sus dotaciones de recursos naturales –los cuales, como se verá más abajo, han privilegiado por lo general los eslabonamientos hacia atrás–, los gobiernos prefieren promover eslabonamientos hacia adelante –en particular, aquellos que involucran un salto hacia sectores productivos totalmente distintos–, con la idea de que ello los alejará de la especialización en recursos naturales.

Mientras que la taxonomía básica aquí brevemente discutida permite examinar la naturaleza y el potencial de los eslabonamientos, cabe preguntarse qué factores promueven el desarrollo de los mismos. Morris et al. (2012) distinguen dos tipos de factores, que son sintetizados en el Cuadro 3: i) intrínsecos al sector de recursos en cuestión; y ii) contextuales.

Categoría	Tipo	Descripción
Intrínsecos	Exigencias de la eficiencia productiva	Se relacionan con la capacidad de los actores para ser competitivos a nivel internacional. El nivel de las exigencias en el sector determina las presiones para llevar adelante actividades de tercerización allí cuando resulten convenientes. Esto puede generar oportunidades de eslabonamientos en el entorno local donde se realizan las actividades extractivas, en particular cuando sea relevante la necesidad de operar cerca de proveedores y clientes.
	Especificidad de los depósitos del recurso	La especificidad de los recursos mineros requiere que ciertas actividades necesarias para la identificación y explotación eficiente del recurso se desarrollen localmente. Esto supone una oportunidad para los agentes locales que tienen un conocimiento privilegiado del ambiente.
	Intensidad tecnológica de la extracción y procesamiento del recurso	Las actividades de menor complejidad tecnológica presentan menos barreras a la entrada para los actores locales (por ejemplo, provisión de servicios básicos, logística, seguridad, mantenimiento). Sin embargo, en los últimos años, se ha registrado una creciente descentralización en actividades más intensivas en conocimiento en países de menor desarrollo relativo.
Contextuales	Propiedad	<i>Origen:</i> en general, las firmas de origen nacional tienen un vínculo más profundo con la economía local y un grado mayor de familiaridad con los proveedores y clientes, conocen mejor el entorno institucional y están más comprometidas con el desarrollo local que las extranjeras. Por lo tanto, es más probable que generen eslabonamientos más amplios y profundos. <i>Nacionalidad de las firmas:</i> las condiciones que prevalecen en el país de origen de la firma pueden tener importancia en la disposición al riesgo de las subsidiarias en el exterior, los niveles y el origen de contenido importado de los insumos utilizados o, como en el caso de las firmas provenientes de países nórdicos, por ejemplo, ciertas reglas éticas de comportamiento <sup>30</sup> . <i>Atributos específicos</i> de la firma que responden a su propia trayectoria y pueden determinar su disposición a establecer eslabonamientos. Aquí se encuentran, por ejemplo, los tipos de capacidades desarrollados, su visión estratégica o si se trata de una firma pionera o no.
	Infraestructura (física y social)	Es importante tanto para la firma exportadora como para el desarrollo local de proveedores y clientes. La relevancia de la infraestructura para el desarrollo de eslabonamientos dependerá de la naturaleza del recurso (que afecta, por ejemplo, las modalidades de exportación). Asimismo, el nivel de especificidad de la infraestructura requerida por el recurso habilitará o no su uso por parte de otros sectores de la economía.
	Capacidades locales y sistema de innovación	El desarrollo de eslabonamientos requiere que existan en el territorio ciertas capacidades, cuya complejidad aumenta a medida que dichos eslabonamientos se vuelven más intensivos en conocimiento. La creación de eslabonamientos locales requiere, entonces, contar con recursos humanos debidamente capacitados y con instituciones eficientes que faciliten la creación y difusión de conocimiento dentro del sistema.
	Contexto de política	Además de las políticas dirigidas a mejorar la eficiencia a nivel de firma y facilitar el aprendizaje tecnológico, las políticas a nivel macro y meso (por ejemplo, políticas sectoriales específicas) tienen gran incidencia para determinar las condiciones de localización de eslabonamientos productivos. Una política efectiva requiere, en primer lugar, la elaboración de una estrategia realista respecto al desarrollo del sector y, en particular, sobre los canales para la promoción de eslabonamientos. En segundo lugar, es necesario que la estrategia esté acompañada por instrumentos de política específicos que estén alineados y se refuerzan entre sí. Asimismo, los gobiernos deben tener las capacidades y la legitimidad para implementar la estrategia diseñada y las políticas que la acompañan. La política debe ser capaz de alinear las visiones y capacidades del sector público, privado y de la sociedad civil (incluyendo a las comunidades que viven en los territorios donde se encuentra el recurso).

**Cuadro 3. Factores que afectan el desarrollo de eslabonamientos**

Fuente: elaboración propia en base a Morris et al. (2012).



<sup>30</sup> La influencia de los países de origen (*home countries*) sobre las modalidades de internacionalización y organización de la cadena de valor por parte de las subsidiarias de multinacionales en el exterior ha sido estudiada por autores como Lane y Probert (2009) y Whitley (1998).

### 1.3. Experiencias internacionales de promoción de eslabonamientos basados en industrias extractivas

Entre los países de altos ingresos, Australia o Noruega son casos destacados en materia de experiencias de desarrollo basado en recursos naturales. En gran medida, los procesos virtuosos que sostienen su desempeño se asientan en la dinámica de encadenamientos e innovación en las industrias extractivas (Ville & Wicken, 2012). En el caso australiano, por ejemplo, el clúster de equipamiento, tecnología y servicios para la minería generaba, en 2012, más de USD 12.000 mn de exportaciones y otro tanto de ingresos asociados a otras actividades offshore. El 75% de las firmas de este sector realizaba alguna forma de I+D, mientras que un tercio de ellas cooperaba con universidades u organismos de investigación (Scott-Kemmis, 2013). Un caso similar se observa en Noruega, donde se descubrieron los primeros yacimientos petrolíferos comerciales recién en 1969 y, en un lapso de tiempo relativamente breve, se lograron acumular capacidades ingenieriles e innovativas de clase mundial (Sasson & Blomgren, 2011). También se avanzó fuertemente en materia de contenido local: partiendo de niveles muy bajos en los años setenta, en la actualidad el 50% de los equipos y más del 80% de los servicios de operación y de mantenimiento son provistos localmente. A su vez, casi el 50% de las ventas de las firmas noruegas proveedoras son exportaciones (Halland et al., 2015).

El proceso de construcción de estos eslabonamientos y la acumulación de capacidades de innovación estuvieron, en gran medida, impulsadas por políticas específicas. En el caso noruego, las empresas extranjeras fueron invitadas a entrar en arreglos cooperativos de capacitación e investigación con las universidades nacionales, lo que permitió generar capital humano y programas de formación específicos para el sector. También se introdujeron instrumentos para promover la I+D y la transferencia de tecnología en la industria petrolera así como exigencias de localización de ciertas actividades innovativas en el país. En tanto, si bien no existieron mandatos de contenido local mínimo, las empresas extranjeras fueron proclives a contratar proveedores locales, aunque no fueran decisiones eficientes en términos de sus costos, bajo la presunción de que esas iniciativas serían bien vistas por el gobierno de cara a futuras renovaciones de las licencias de explotación. Asimismo, se establecieron normas para asegurar que las empresas locales estuvieran en pie de igualdad para competir y acceder a la información sobre potenciales contratos vis-à-vis los proveedores extranjeros (Halland et al., 2015; Sasson & Blomgren, 2011; Tordo & Anouti, 2013).

En el caso australiano, el menú de políticas incluyó el diálogo público-privado para desarrollar estrategias de generación de capacidades a largo plazo, incentivos para proyectos de

innovación y formación de personal, apoyo a la exportación y al desarrollo de capacidades empresariales y cooperación con universidades e institutos de investigación (Boston Consulting Group, 2007; Urzúa, 2012). En este caso, adicionalmente, se exige que todos los proyectos mayores a los USD 500 mn desarrollen un estudio de impacto que incluya las posibilidades de vinculaciones, transferencia de conocimiento y alianzas estratégicas, así como la comunicación de los resultados respectivos, lo que facilita que las empresas locales tengan oportunidad de convertirse en proveedores de las firmas mineras, para lo cual también reciben asistencia técnica de parte del gobierno (CEPAL, 2016).

En el caso de los países en desarrollo, aun cuando, como se mencionó antes, se han abierto nuevas oportunidades para la generación de encadenamientos, los impactos positivos son todavía limitados. Para dar un ejemplo, en Maennling (2016) se ofrecen datos comparativos entre operaciones mineras similares en un país de la OCDE y en otro de ingresos medios-bajos, resaltando el hecho de que las compras locales representan el 58% del gasto operativo en el primer caso y apenas el 12% en el segundo (en contraparte, las compras al exterior son el 6% y el 45%, respectivamente, en cada caso).

Aunque muchos países en desarrollo han tratado de promover los encadenamientos locales derivados de las industrias extractivas (tanto adelante como hacia atrás), hasta el momento parecen ser pocos los casos de éxito, al menos desde una perspectiva integral. En lo que concierne a los encadenamientos hacia atrás, estas iniciativas podrían, en principio, ser beneficiosas también para las propias multinacionales, considerando que los salarios en los países receptores suelen ser menores que los que se pagan al personal expatriado, y que habría también ganancias potenciales de costos y tiempos de entrega en un marco de mayores conexiones con proveedores locales. Sin embargo, en general, las políticas de contenido local mínimo de carácter obligatorio parecen no haber funcionado bien debido a que son pocas las firmas que cuentan con el capital humano, la tecnología y la información requeridas para convertirse en proveedores eficientes de las multinacionales que dominan las industrias extractivas (Halland et al., 2015; Tordo & Anouti, 2013; Venables, 2016). Las iniciativas que buscan promover el desarrollo de capacidades en los proveedores potenciales parecen más prometedoras, pero sus impactos todavía son limitados, como se verá más abajo para el caso de América Latina.

Con frecuencia, también se ha buscado estimular el procesamiento local de las materias primas imponiendo restricciones a su exportación y/o mediante la promoción de proyectos en industrias aguas abajo (petroquímica, siderurgia, entre otras). Estas estrategias muchas veces han encontrado obstáculos en materia de escala de mercado y barreras comerciales

en los destinos potenciales. La evidencia muestra también que raramente funcionan por sí solas en ausencia de otras capacidades complementarias, como por ejemplo, el acceso a energía<sup>31</sup>, tecnología o financiamiento (Venables *et al.*, 2016; Halland *et al.*, 2016). Asimismo, cabe recordar que muchos de estos sectores aguas abajo son industrias maduras, donde prevalece la competencia vía precios, se genera poco empleo directo y cuyas dinámicas innovadoras no son particularmente intensas. Así, no sorprende que en los mencionados casos de Australia y Noruega ninguno de los gobiernos respectivos promoviera el desarrollo de este tipo de encadenamientos, por considerar que no existían las capacidades necesarias para generar sectores competitivos.

Es importante, asimismo, destacar que el diseño y puesta en marcha de políticas que promuevan los encadenamientos y la innovación asociados a las industrias extractivas exige entender el funcionamiento de las cadenas globales de valor y los mecanismos de gobierno prevalentes en ellas, así como las estrategias de las multinacionales que lideran dichas cadenas. Como se ha discutido, ello es clave para identificar las oportunidades para ingresar y escalar posiciones en la división de tareas al interior de cada cadena (Gereffi *et al.*, 2005; Morris *et al.*, 2012), e incluso para conocer mejor cuál es el espacio existente para ampliar la base de proveedores locales en las diferentes industrias<sup>32</sup>.

Finalmente, dado el carácter territorialmente delimitado de la explotación de los recursos extractivos, no sorprende que exista una extensa literatura que replica a escala sub-nacional la discusión sobre las temáticas antes mencionadas para el territorio nacional. En este punto, cabe destacar que si bien los proyectos extractivos generan algunos impactos positivos a nivel local (por ejemplo, empleos y recursos fiscales), y pueden ayudar a mejorar la infraestructura, en particular de transporte y energía, también es allí donde se concentran los efectos negativos sobre el medio ambiente y las comunidades (Cust & Viale, 2016). Más aún, los impactos positivos en materia de empleo indirecto y desarrollo de proveedores en los territorios donde se llevan adelante las actividades extractivas son usualmente pequeños, ya que a menudo se trata de zonas rezagadas en cuanto a disponibilidad de capacidades e infraestructura, al menos en los países en desarrollo.

En América Latina y el Caribe distintos países han llevado adelante iniciativas que apuntan a promover los eslabonamientos generados por las industrias extractivas, así como las actividades de innovación en torno a dichas industrias, muchas veces en esquemas de asociación público-privados o a través del estímulo a la creación de redes de conocimiento. En el Cuadro 4, se enumeran algunos de los programas identificados en CEPAL (2016) para el caso del sector minero.



<sup>31</sup> En general, las grandes multinacionales mineras exportan la mayoría de los concentrados hacia plantas de fundición y refinación ubicadas cerca de los mercados consumidores y con gran disponibilidad de energía a bajo costo (CEPAL, 2016).

<sup>32</sup> En CEPAL (2016) se señala que la “gran minería” utiliza maquinaria especializada, producida con economías de escala y comercializada en redes globales, lo que reduce el espacio para la emergencia de proveedores locales. Aunque se trata de actividades muy diferentes, es interesante mencionar un estudio de PROCOMER (2014) que ilustra sobre el relativamente bajo techo a los encadenamientos locales en las zonas francas en Costa Rica debido al cruce de las estrategias de provisión global e intra-firma de las multinacionales con la carencia de materias primas y capacidades domésticas.



<p><b>Desarrollo de proveedores y contenido local</b></p>	<p>En Brasil, la Agencia Brasileña de Desarrollo Industrial (ABDI) trazó un mapa de la cadena de proveedores de bienes y servicios de la minería para elaborar la propuesta de un programa de desarrollo de proveedores en el marco del Plan Nacional de Minería 2030.</p> <p>En México el Plan de Desarrollo Minero incentiva el desarrollo de proveedores a través del Fideicomiso del Fomento Minero (FIFOMI), que otorga financiamiento, capacitación y asistencia técnica.</p> <p>En Chile, se creó el Programa de Proveedores de Clase Mundial, en base a un proyecto privado inicial de BHP Billiton, al cual luego se sumaron CODELCO<sup>33</sup> y la Fundación Chile, que apunta a desarrollar proveedores intensivos en conocimiento y soluciones tecnológicas que puedan ser escaladas a otros sectores y mercados.</p> <p>En 2009, la empresa Vale lanzó un programa específico de desarrollo de proveedores para sus operaciones en Brasil (Inove), con herramientas de financiamiento, capacitación y creación de rondas de negocios. El programa se focaliza en PyMEs y se implementa en asociación con entidades locales de crédito, formación y asociaciones empresariales, incluyendo el Servicio Brasileño de Apoyo a las Micro y Pequeñas Empresas (SEBRAE).</p> <p>Algunos países han intentado fijar metas de contenido local obligatorio, como el caso de Brasil, donde, en 2013, se envió un proyecto de ley para aplicar dichas metas en el caso de la minería (el cual finalmente no fue aprobado), siguiendo regulaciones ya vigentes desde 1999 en aquel país para el caso de los hidrocarburos.</p>
<p><b>Innovación</b></p>	<p>En 2009, se creó en Chile el Centro Avanzado de Tecnología para la Minería, articulando representantes de la academia y el sector empresario. Este centro cuenta con apoyo público y privado para desarrollar proyectos innovadores y, al presente, cuenta con cerca de 170 investigadores y 10 laboratorios.</p> <p>En México, el FIFOMI otorga financiamiento para proyectos de desarrollo de nuevas tecnologías para la minería, incluyendo objetivos de preservación ambiental.</p> <p>En Brasil se lanzó, con participación de la Financiadora de Estudios y Proyectos (FINEP) y el BNDES, el programa Inova Mineral, el cual se focaliza en el desarrollo de tecnologías en las cadenas de valor de los minerales definidos como “portadores de futuro” (cobalto, grafito, litio, molibdeno, grupo del platino, niobio, tierras raras), en aquellos en los que el país tiene elevado déficit comercial (fosfato y potasio) y en la minimización del impacto ambiental de las operaciones mineras (hay un programa similar para el sector petrolero, Inova Petroleo).</p>
<p><b>Industrialización</b></p>	<p>Chile está impulsando una estrategia para mejorar su posicionamiento en la refiniería y fundición del cobre, apuntando a aumentar la eficiencia, disminuir el impacto medioambiental y mejorar las condiciones laborales a través de proyectos de desarrollo tecnológico.</p> <p>La Corporación Minera de Bolivia (COMIBOL) –la empresa pública encargada de administrar la cadena productiva de la minería de aquel país– ha implementado inversiones para avanzar en la cadena minero-metalúrgica a través de la nacionalización y modernización de una metalúrgica de estaño y de la puesta en marcha de una fundición de complejos de plomo-plata que había estado inactiva en los últimos 30 años. Por otra parte, el proyecto de explotación de litio en el Salar de Uyuni busca desarrollar toda la cadena de valor hasta la fabricación de baterías de ion-litio (más sobre este tema en la Sección 5).</p>

**Cuadro 4. Selección de políticas adoptadas en América Latina para el desarrollo de eslabonamientos y actividades de innovación en las industrias extractivas**

Fuente: elaboración propia en base a CEPAL (2016).

Se puede agregar que en Brasil, desde fines de los años noventa, se crearon diversos fondos sectoriales, dos de los cuales se vinculan directamente con las industrias extractivas, a saber, el de minería y el de petróleo y gas. Ambos están fondeados con una porción de las regalías y tributos que pagan las empresas de cada sector, y su objetivo es financiar proyec-



<sup>33</sup> La Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO) es una empresa estatal dedicada a la explotación minera; al presente es el productor de cobre más grande del mundo.

tos de desarrollo tecnológico e innovación (Buainain et al., 2014).

En el período más reciente, en Chile se observó un avance aún más articulado con el objetivo de impulsar el desarrollo tecnológico y productivo en el sector minero a través del lanzamiento del Programa Nacional de Minería Alta Ley en 2015. Este programa fue el resultado de diversos esfuerzos de diagnóstico y elaboración de propuestas en el marco de una iniciativa público-privada impulsada por CORFO y el Ministerio de Minería (Marín et al., 2016). A partir de este ejercicio se definió una “hoja de ruta” tecnológica hasta el año 2035, que identifica ocho prioridades tecnológicas, incluyendo: i) minería subterránea/minería profunda a gran escala; ii) mejora de la competitividad de fundiciones y refinerías; iii) identificación y minimización de impactos de relaves; iv) mejoras de productividad; v) desarrollo de proveedores intensivos en conocimiento; vi) potenciar la actividad de exploración; vii) minería inteligente; y viii) desarrollo del capital humano (Fundación Chile, 2016).

Uno de los pilares de esta hoja de ruta es el mencionado Programa de Proveedores de Clase Mundial. Dicho programa alcanzó a involucrar cerca de 90 firmas hasta 2014, que implementaron un número similar de soluciones tecnológicas trabajando en conjunto con las empresas mineras demandantes. Sin embargo, durante su aplicación surgieron problemas de alineamiento de incentivos entre los distintos stakeholders (empresas productoras, universidades, proveedores potenciales), así como dificultades por parte del gobierno para realizar una coordinación efectiva, lo cual limitó sus impactos (Marín et al., 2016; Urzúa et al., 2016). En este escenario, uno de los objetivos que se buscan es escalar los impactos de la iniciativa tratando de abordar las limitaciones mencionadas.

La experiencia de este programa refleja una realidad más amplia. En efecto, la evidencia disponible sugiere que los encadenamientos productivos y de conocimiento generados por las industrias extractivas en la región son relativamente modestos y, en general, avanzan poco hacia las tareas tecnológicamente más complejas, donde se enfrentan a la competencia con proveedores internacionales ya establecidos. Incluso, cuando se logra avanzar en esta dirección, las actividades más intensivas en conocimiento no se llevan adelante en los territorios donde se explotan los recursos, sino en los grandes centros urbanos. Los encadenamientos locales se limitan a bienes y servicios de baja intensidad tecnológica, alentados en todo caso por políticas de desarrollo comunitario o responsabilidad social corporativa (CEPAL, 2016; López, 2017).

En este marco, las políticas de impulso al desarrollo de proveedores y la innovación en las industrias extractivas han tenido, en general, impactos limitados. Esto es el resultado de la combinación de uno o más de los siguientes factores: i) recursos insuficientes o inestables

en el tiempo; ii) ausencia de capacidades locales; iii) dificultad para alinear la agenda de incentivos entre los distintos agentes involucrados; y iv) falta de mecanismos efectivos de coordinación, incluso al interior de los propios gobiernos. No sorprende, entonces, que la región aún se encuentre rezagada en materia de promoción de encadenamientos y alcance de las actividades innovativas frente a las naciones desarrolladas ricas en recursos naturales no renovables como Australia o Noruega.



## 2

## LA ARGENTINA EN EL ESCENARIO GLOBAL DEL LITIO: BREVE RESEÑA

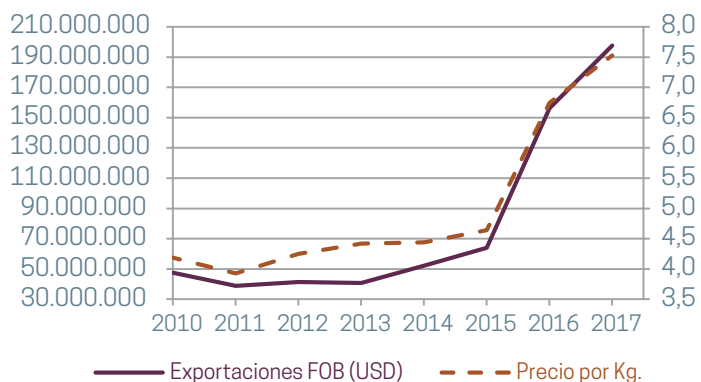
Como se ha señalado, el creciente interés por el litio ha generado expectativas por el potencial económico del “triángulo del litio”. Entre los países que forman parte de este espacio, la Argentina es el que actualmente ofrece mayores oportunidades para la generación de nuevas actividades de exploración y explotación<sup>34</sup>, en particular gracias a que el marco normativo que regula la explotación del litio es más abierto a la inversión que el de los vecinos del triángulo. Como se verá con mayor detalle en la Sección 5, Bolivia, que es el país que concentra el segundo mayor volumen de recursos en el mundo según la última información del U.S. Geological Service (USGS), decidió reservar para el Estado nacional la explotación de los salares, así como la industrialización y comercialización de sus recursos. Chile, por su parte, reservó en 1979 el litio para el Estado, luego de haber declarado el carácter estratégico del recurso, en 1976, por ser un elemento con “interés nuclear”. Quedaba exceptuado de esta restricción el litio existente en pertenencias mineras constituidas o en trámite de constitución antes del 1º de enero de 1979, condición en que se encontraba la propiedad minera de CORFO en el salar de Atacama y las de CODELCO en salares de Pedernales y Maricunga. Las dos empresas que actualmente producen litio en este país lo hacen mediante contratos con CORFO.

La evolución de la actividad litífera en Argentina durante los últimos años se refleja en las cuentas de exportación de carbonato y cloruro de litio (Gráfico 3 y Gráfico 4) que, aunque son relativamente pequeñas en relación a las exportaciones totales (0,3%) e, incluso, del sector minero (5,4%), se han cuadruplicado entre 2010 y 2017. Este aumento se ha dado, fundamentalmente, a partir del aumento en el precio, ya que las cantidades han comenzado a subir recién a partir de la puesta en marcha de la planta de Sales de Jujuy en 2015. Cabe destacar, sin embargo, que a pesar de que los volúmenes sean bajos a nivel nacional, no resultan nada despreciables para las provincias donde se localiza el recurso (Gráfico 5). En el caso de Jujuy las exportaciones de cloruro y carbonato de litio representaron el 16% del total exportado en 2016 –lo que, seguramente, aumentará notablemente con la puesta en marcha del proyecto de Minera Exar–, mientras que en Catamarca se ha alcanzado un pico de 10% en 2015.



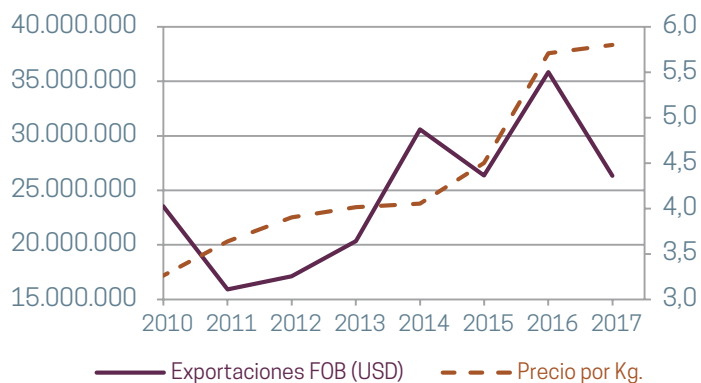
<sup>34</sup> El mapa del litio elaborado conjuntamente por el USGS y el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), puede encontrarse en [https://www.minem.gob.ar/servicios/archivos/7672/AS\\_15115524571.pdf](https://www.minem.gob.ar/servicios/archivos/7672/AS_15115524571.pdf)

**Gráfico 3. Evolución de valor (eje izquierdo) y precio medio (eje derecho) por kg de exportaciones argentinas de carbonato de litio (FOB en USD) 2010 - 2017**



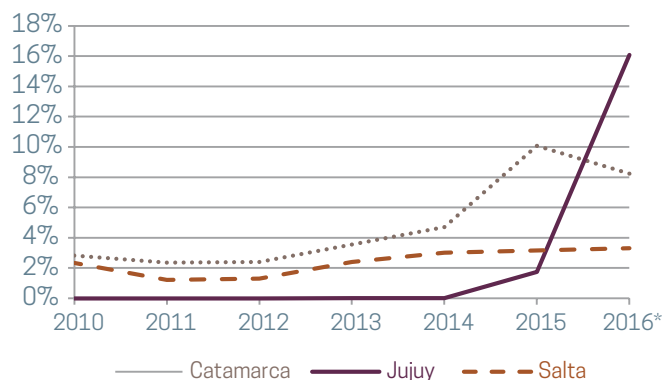
Fuente: Elaboración propia en base a INDEC.

**Gráfico 4. Evolución de valor (eje izquierdo) y precio medio (eje derecho) por kg de exportaciones argentinas de cloruro de litio (FOB en USD) 2010 - 2017**



Fuente: Elaboración propia en base a INDEC.

**Gráfico 5. Participación de las exportaciones cloruro y carbonato de litio en las exportaciones de Catamarca, Jujuy y Salta 2010 - 2016**



Fuente: Elaboración propia en base a INDEC.

Nota: \* datos provisorios para 2016.

En este contexto, las firmas beneficiadas con permisos de exploración en 15 salares en las provincias de Catamarca, Jujuy y Salta, en el Noroeste del país, intensificaron sus actividades en años recientes, lo que ha llevado a un aumento de las reservas de litio de la Argentina<sup>35</sup>. Esto ciertamente refuerza las expectativas sobre el potencial del país. De acuerdo al Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina (MINEM), actualmente hay en la Argentina un gran número de proyectos para la operación de salares y/o lagunas de litio –distribuidos en las provincias mencionadas más arriba– y 5 proyectos en estado de exploración en distritos pegmatíticos –Catamarca, Córdoba, Salta y San Luis (ver Anexo II para un listado completo de estos proyectos de acuerdo a la información recabada por el MINEM). Solo dos de estos proyectos se encuentran en fase de producción a escala industrial, mientras que otro está en fase de construcción (en todos los casos con base en salares). El resto se encuentra entre la etapa de prospección y de estudio de factibilidad.

Sin embargo, es importante destacar que no es factible que en el corto plazo se observe un crecimiento explosivo de la producción. El proceso que va desde la exploración a la producción de carbonato de litio en salares comprende distintas fases que se desarrollan en un período mínimo estimado de unos 7 años –que puede estirarse a 10, considerando la puesta a punto del proceso productivo. En las fases de exploración y factibilidad se evalúan las reservas, las características del salar y el potencial económico para la explotación. Luego,



<sup>35</sup> Por ejemplo, entre 2015 y 2016, las reservas aumentaron de 850.000 a 2 millones de toneladas métricas de litio. Fuente: U.S. Geological Service (2017).

si se verifican condiciones adecuadas, se avanza a las fases de construcción de una planta piloto y, más tarde, de la planta a escala industrial, lo que supone una elevada inversión en infraestructura<sup>36</sup>. Una vez que la planta a escala industrial entra en operaciones, la curva de crecimiento de la producción de carbonato de litio puede sufrir demoras, puesto que, especialmente en el caso de los salares, el proceso está sujeto a ajustes para obtener los volúmenes y la calidad de producto requerida por los clientes.

Por ello, no resulta extraño que, a pesar de las expectativas que ha generado el litio en el país, solo dos empresas se encuentren en fase operativa: i) Minera del Altiplano, una subsidiaria de FMC Lithium Corp., que opera el Salar del Hombre Muerto (Catamarca), desde 1998; y ii) Sales de Jujuy, un joint venture entre la empresa australiana Orocobre (66,5% del capital), la japonesa Toyota Tsusho Corporation (25%) y la firma del Estado provincial jujeño, Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE) –8,5% del capital–, que opera el Salar de Olaroz desde 2015.

Luego, existe otro emprendimiento en fase de construcción en el Salar de Olaroz-Caucharí (Jujuy), a cargo de Minera Exar, un joint-venture que conforman en partes iguales la firma chilena Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM) y la canadiense Lithium Americas, que también cuenta con una participación minoritaria del 8,5% de JEMSE<sup>37</sup>. De acuerdo a los datos de 2017, la producción de Minera del Altiplano y Sales de Jujuy fue de 15.153 tn y 11.392 tn, respectivamente –esta última tiene una capacidad de producción de 17.000 tn por año. En el caso de la operación de Minera Exar se prevé, en su fase inicial, una capacidad de producción de 25.000 tn al año.

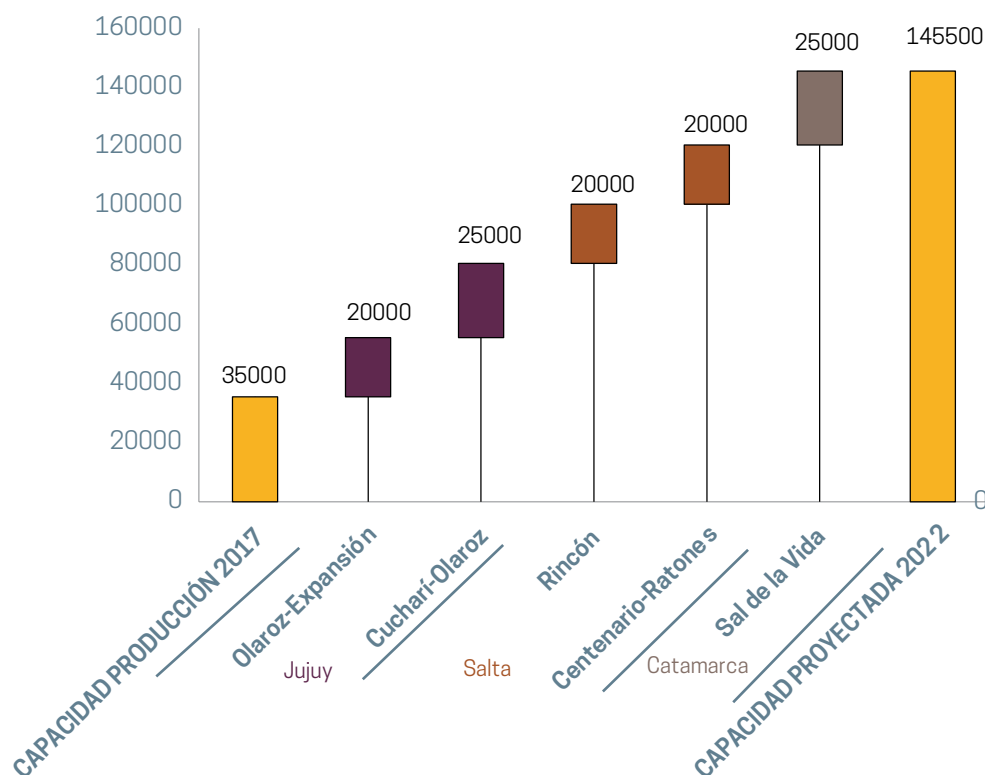
Las estimaciones de MINEM (2017b) indican que, de acuerdo al ritmo con el que las empresas llevan adelante sus proyectos, el incremento en la capacidad de producción de litio sería de 388% entre 2017 y 2022 –de 37.500 a 145.500 tn de carbonato de litio equivalente (LCE)–. Sin embargo, estas proyecciones resultan demasiado optimistas en la visión de otros actores. Deutsche Bank (2016), por ejemplo, estima que en 2022 la producción alcanzaría las 45.000 tn anuales y en 2025 las 95.000 tn.



<sup>36</sup> Por ejemplo, la construcción en curso por parte de Minera Exar en el Salar Cauchari-Olaroz tendrá un costo estimado de USD 425 millones, excluyendo Impuesto al Valor Agregado y capital de trabajo. El tiempo de construcción se estima en dos años. Fuente: <http://lithiumamericas.com/companies/cauchari-olaroz/>.

<sup>37</sup> El 13 de agosto de 2018, se anunció el acuerdo a partir del cual la firma china Jiangxi Ganfeng Lithium compraría la participación de SQM en Minera Exar por un total de USD 87,5mn. Ver <https://www.nasdaq.com/press-release/lithium-americas-announces-strategic-transaction-with-ganfeng-lithium-to-jointly-advance-20180813-00936>.

**Gráfico 6. Proyección de la capacidad de producción argentina de litio de acuerdo al MINEM (en miles de tn, LCE)**



Fuente: MINEM (2017b) en base en información pública de las propias compañías.

Como se ha señalado, entre las provincias argentinas que integran el triángulo del litio, ha sido Jujuy la que ha adoptado una posición más activa para generar mecanismos orientados a potenciar el impacto del litio sobre las condiciones de desarrollo de la provincia. Específicamente, la provincia ha buscado promover este proceso mejorando las condiciones de apropiación de la renta minera y fomentando el desarrollo de las capacidades tecnológicas y productivas en torno al litio –y, más en general, en materiales avanzados y almacenamiento de energía, tal como se desprende del nombre elegido para el instituto de triple dependencia del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) creado en Palpalá: Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJU). Estas iniciativas serán analizadas con mayor detalle a lo largo del estudio.

El marco normativo para avanzar en dicha dirección quedó establecido en el Decreto-Acuerdo N° 7592, que declara las reservas minerales de litio como recurso estratégico y crea un



“Comité de Expertos para el análisis integral de proyectos de litio”<sup>38</sup>. Asimismo, a través del Decreto de Necesidad y Urgencia N° 7626 del Poder Ejecutivo, se crea la empresa provincial JEMSE, con competencias para llevar a cabo por sí, o a través de terceros, tareas de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica, hidrocarburos –líquidos y/o gaseosos– y/o realizar actividades de comercio vinculadas como bienes energéticos, y desarrollar cualquiera de las actividades previstas en su objeto, tanto en el país como en el extranjero.

Es en este marco que JEMSE ha negociado una participación accionaria de 8,5% en las empresas que operan los salares, lo cual le da derecho a tener la prioridad de venta sobre una cuota del 5% del carbonato de litio producido por aquellas. Así, la cuota de JEMSE en el caso de Sales de Jujuy –que representaría unas 875 tn LCE cuando la empresa alcance su máxima capacidad de producción actual– le ha dado a la provincia un instrumento para que ésta negocie con actores externos la localización de actividades productivas para “agregar valor” al litio. Como se verá con mayor detalle, con este fin JEMSE ha firmado un acuerdo con el grupo italiano SERI para avanzar en la construcción de una planta de ensamblado de baterías de ion-litio que, según el plan de negocios trazado, debería llegar a producir celdas y material activo para baterías en la provincia.

Asimismo, en el ámbito del sistema de ciencia y tecnología (CyT), en 2015 se creó el ya mencionado CIDMEJU, comúnmente conocido como “Instituto del Litio”. Se trata de un organismo dependiente del CONICET, de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJU) y del gobierno de la provincia de Jujuy (representado a través de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la provincia). Las instalaciones del CIDMEJU, inauguradas en agosto de 2017, se ubican en la ciudad de Palpalá, a unos 15 km de San Salvador de Jujuy. Si bien el centro tiene una fuerte focalización sobre el litio, como se ha señalado, su ámbito de interés excede este recurso en particular, abarcando las técnicas de extracción de otros recursos presentes en los salares, la ciencia de materiales y las aplicaciones energéticas. Sus objetivos se orientan a la I+D, la formación de recursos humanos y las tareas de transferencia tecnológica en los ámbitos de extracción e industrialización de recursos extraídos de los salares.



<sup>38</sup> Por ejemplo, la construcción en curso por parte de Minera Exar en el Salar Cauchari-Olaroz tendrá un costo estimado de USD 425 millones, excluyendo Impuesto al Valor Agregado y capital de trabajo. El tiempo de construcción se estima en dos años. Fuente: <http://lithiumamericas.com/companies/cauchari-olaroz/>.

## 3

## EL LITIO AGUAS ARRIBA: EXPLORACIÓN, EXTRACCIÓN Y PRODUCCIÓN

### 3.1. Recursos, reservas y producción: el escenario internacional

#### 3.1.1. Fuentes y procesos de extracción

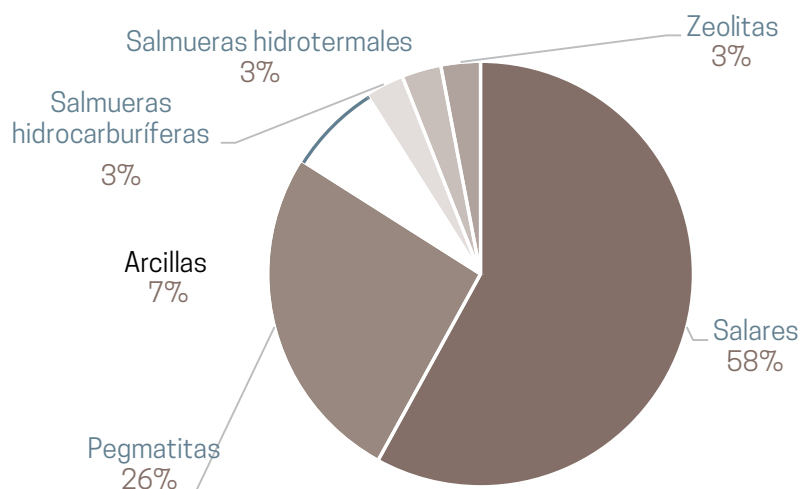
La mayor parte de las reservas mundiales de litio se concentran en salares de cuenca cerrada (Gráfico 7). El litio disuelto aparece en concentraciones de hasta unas pocas miles de partes por millón en las salmueras que conforman los acuíferos libres y confinados en los salares. El litio se acumula con el tiempo por la erosión de las rocas que contenían pequeñas cantidades del material. La extracción de estos depósitos se realiza a partir del bombeo de la salmuera, donde se concentra por evaporación en una serie de estanques solares. Esta solución rica en litio se procesa luego en carbonato de litio o hidróxido de litio.

La segunda fuente de litio son las pegmatitas, que explican el 26% de las reservas mundiales. La mayoría de las pegmatitas está compuesta por granito, que contiene cuarzo, feldespato y mica. Algunas pegmatitas, denominadas “LCT” (litio-cesio-tántalo), están enriquecidas en metales raros como litio, cesio y tántalo. Son precisamente las pegmatitas LCT, tanto en pozos abiertos como en minas subterráneas, aquellas de las que se obtiene el litio. El mineral más importante que contiene litio es la espodumena. El mundo tiene cientos de depósitos de pegmatita LCT, pero solo unos pocos producen litio en la actualidad. Los de mayor tamaño se ubican en Australia, Zimbabue, Brasil, China y Portugal. Por su parte existen recursos de pegmatitas en otros países como Afganistán, Austria, Canadá, Chile, República Democrática del Congo, Finlandia, Irlanda, Rusia, España, Estados Unidos, y Uzbekistán (Christmann et al., 2015).

En cuanto a las locaciones de otros tipos de fuentes, existen recursos de litio en pizarras negras en Canadá, salmueras en campos petroleros en Canadá y Estados Unidos, greisen/aplita en Francia, arcilla (hectorita, polilithionita) en México, arcilla (hectorita) en Estados Unidos, sedimento lacustre alojado en Serbia, y salmuera geotermal en Estados Unidos (Christmann et al., 2015).

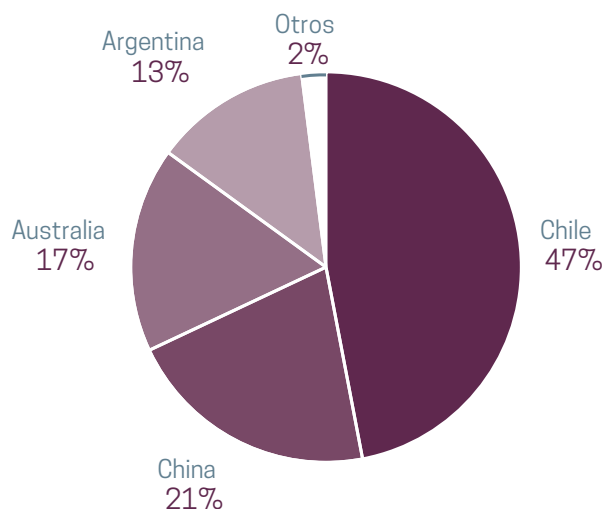
En 2017 las reservas de litio a nivel mundial sumaban 16 mn de toneladas métricas (U.S. Geological Service, 2018). Como se observa en el Gráfico 8, apenas cuatro países –Chile, China, Argentina y Australia– concentran casi la totalidad de las reservas mundiales de litio. Aunque Bolivia es uno de los países con mayores reservas potenciales de litio, estas aún no han sido cuantificadas. También existen recursos de salmuera en Afganistán, Canadá (en campos petroleros) y Mongolia (Christmann et al., 2015).

**Gráfico 7. Distribución de las reservas de litio según tipo de depósito**



Fuente: MINEM (2017b), en base a datos del USGS.

Gráfico 8. Distribución geográfica de las reservas de litio del mundo (en miles de tn)



Fuente: U.S. Geological Service (2018).

### 3.1.2. Producción

En 2016, Australia, Chile, Argentina y China aportaban el 94% de la producción mundial de litio (Gráfico 9). Durante casi dos décadas la mayor parte del litio del mundo fue producido por unos pocos oferentes que todavía dominan el mercado (Gráfico 10): Albemarle<sup>39</sup> (Estados Unidos), Sociedad Química y Minera de Chile –referida usualmente como SQM o Soquimich–, y FMC Corporation (Estados Unidos)<sup>40</sup>. En los últimos años algunas empresas de origen chino han ganado presencia como productoras de litio (Kay, 2018). En particular, se destaca Tianqi Lithium, que opera, junto a Albemarle, la mina de litio más grande de Australia: Greenbushes<sup>41</sup>.

SQM explota actualmente el Salar de Atacama (Chile). Posee oficinas en más de 20 países y clientes en 110 países. La firma cuenta con cinco áreas comerciales, que van desde litio y sus derivados hasta potasio y nutrición vegetal especializada. Además de sus operaciones en Chile, SQM tiene, desde 2016, un joint-venture (Minera Exar S.A.) con la canadien-

<sup>39</sup> Previamente era parte de The Ethyl Corporation hasta que en febrero de 1994 separó sus negocios químicos para crear una empresa independiente llamada Albemarle Corporation.


<sup>40</sup> Rockwood Holdings figuraba en esa lista hasta su adquisición por parte de Albemarle en diciembre de 2015 por un monto aproximado a los USD 5,7 millones.

<sup>41</sup> Tianqi posee una participación del 51% en Talison Lithium, que dirige la mina, mientras que Albemarle tiene el restante 49%.

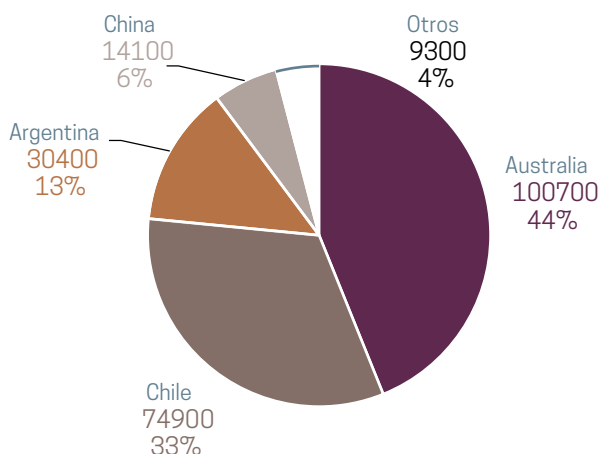
se Lithium Americas para desarrollar el proyecto de litio Cauchari-Olaroz en la Argentina, que entraría en producción en 2020. Esta ha sido la primera inversión de SQM en litio fuera de Chile.

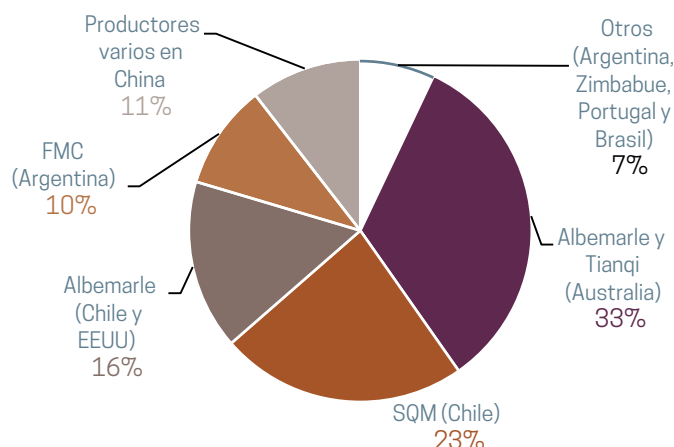
Albemarle emplea a 5.000 personas y cuenta con clientes en 100 países en todo el mundo. Además de litio, Albemarle produce bromo y brinda soluciones de refinación y servicios de química para empresas farmacéuticas. La compañía posee operaciones de salmuera de litio en Estados Unidos (Silver Peak) y Chile (Salar de Atacama), y mantiene una participación del 49% en Talison Lithium que opera en Greenbushes (Australia). En septiembre de 2017, Albemarle anunció el desarrollo de una nueva tecnología que le permitiría aumentar la producción en su mina de litio en Chile en hasta 125.000 tn anuales de LCE sin necesidad de bombeo adicional de salmuera. A la luz de esta innovación, Albemarle ha solicitado a CORFO un aumento en su cuota de litio (Kay, 2018)<sup>42</sup>.

FMC emplea más de 7.000 personas en todo el mundo, y posee oficinas en 45 países. Produce litio desde 1997 en el Salar del Hombre Muerto, en la Argentina –más adelante en el estudio se presentan las operaciones de FMC en el mundo (Figura 5). En octubre de 2016, FMC firmó un acuerdo de provisión de carbonato de litio a largo plazo con la canadiense Nemaska Lithium, por el que, a partir de mediados de 2018, Nemaska suministraría a FMC 8.000 tn de ese material por año. A principios de enero de 2018 FMC anunció que expandiría la producción en la Argentina en los próximos años, y se espera que aquella supere las 40.000 tn de LCE anuales (FMC Corporation, 2018b).

  
<sup>42</sup> Más información sobre el nuevo contrato con Albemarle en Chile, en la Sección 5.

**Gráfico 9. Distribución de la producción mundial estimada de litio (LCE) por país (2017)**



**Gráfico 10. Principales productores de litio (2015)**

Fuente: Elaboración propia en base a Deutsche Bank (2016).

Tianqi Lithium es una filial de Chengdu Tianqi Group, con sede en China. La estrategia de la compañía se concentra en avanzar en la cadena de procesamiento de litio hasta llegar a la producción de baterías, para lo cual es crucial asegurar el suministro de la materia prima. Es el productor de litio a partir de roca dura más grande del mundo. En septiembre de 2016, Tianqi pagó USD 209,6 mn por una participación del 2,1% en SQM. En octubre de 2017, la firma anunció una inversión de USD 300 mn para una segunda etapa de expansión de su planta de procesamiento australiana (Greenbushes). Se espera que para finales del segundo trimestre del 2019 esta expansión duplique la capacidad anual a 48.000 tn (McKinnon, 2018).

Otros productores relevantes a escala global incluyen las chinas Jiangxi Special Electric Motor, Sichuan Yahua Industrial Group y Youngy y las australianas Galaxy Resources, Neometales y Orocobre. Orocobre es de particular relevancia para la Argentina ya que opera desde 2015 el proyecto Olaroz en Jujuy. Debido a que las fuentes de datos disponibles al presente no permiten realizar una representación comparativa de producción por empresa más allá de 2015, Orocobre no aparece en el Gráfico 10. No obstante, en el informe presentado por Orocobre a sus inversores correspondiente al último trimestre de 2017 se reporta que en el año financiero concluido en junio de 2017 el proyecto produjo 11.862 tn de carbonato de litio –como se mencionó antes, la capacidad de producción de la planta alcanza las 17.500 tn de carbonato de litio anuales. Según se informa, durante el segundo semestre de 2019 estarían completas las obras destinadas a ampliar esta capacidad, alcanzando 42.500 tn anuales de carbonato de litio (Orocobre, 2018b).

### 3.1.2. Tecnologías de extracción

Existen actualmente dos fuentes principales de litio con modalidades de extracción dominantes en cada uno de los casos<sup>43</sup>. Una de ellas corresponde a la conversión de minerales pegmatíticos –principalmente espodumeno, petalita y lepidolita–, cuyo principal productor es Australia. La segunda tecnología dominante es la de evaporación solar, utilizada tradicionalmente en salares.

Las ventajas de la extracción de litio a partir de minerales pegmatíticos respecto a la explotación de salares radican en la menor dependencia de los factores meteorológicos y climáticos, así como también en los tiempos más breves para la obtención inicial del recurso. Sin embargo, según se estima, los costos operativos (OPEX) de este tipo de explotaciones, donde se utilizan procesos hidro-metalúrgicos, se ubicaban, en 2016, en torno a los USD 4.500 por tn –es decir, por encima del OPEX que prevalece en la explotación de salares, calculado entre USD 2.500-3.000 por tn en el caso del salar de Atacama (Deutsche Bank, 2016). En comparación con las técnicas de extracción utilizadas actualmente en salares, el proceso de reducción del mineral requiere realizar perforaciones, voladuras, trituración, calentamiento y separación física del recurso, es intensivo en el consumo de energía y hace uso de una mayor cantidad de reactivos.

En el caso de los salares, la principal ventaja, con relación a la obtención a partir de minerales, radica en un OPEX menor, así como también en un impacto ambiental relativamente bajo –especialmente cuando se lo compara con la minería y procesamiento de otros metales como el oro, la plata o el plomo (British Geological Service, 2016). Sin embargo, como contrapartida, los costos de capital (CAPEX) son más elevados. De acuerdo a la empresa de servicios de ingeniería WorleyParsons, el CAPEX de proyectos de litio en salares, ejecutados entre 2017 y 2018, y con capacidad de producción entre 20.000 y 35.000 tn anuales, se encontraba entre USD 400 mn y USD 500 mn<sup>44</sup>. Asimismo, los tiempos requeridos para las fases de prospección y piloto pueden extenderse por un período de 10 años, mientras que también los tiempos para la cosecha del litio son muy largos, alcanzando entre 12 y 24 meses (Flexer et al., 2018). El proceso es altamente dependiente de factores climáticos y meteorológicos, en particular de las precipitaciones y el potencial de evaporación.

Otro de los problemas que presenta esta tecnología es que arroja como residuos sales impuras de sodio, magnesio y calcio. En su reciente revisión crítica de los métodos para la obtención del litio, Flexer et al. (2018) señalan que el desarrollo de nuevos métodos para la obtención de litio a partir de salares tampoco parece prestar atención al tratamiento de los residuos derivados del proceso de recuperación. Las preferencias sobre esta cuestión pa-



<sup>43</sup> Sin embargo, existe una amplia variedad de técnicas para la obtención de litio a partir de distintos procesos. Para una revisión, ver Swain (2017).

<sup>44</sup> Los datos surgen de la presentación realizada por Eduardo Montegu Gerard, de la firma WorleyParsons, en el Foro del Litio 2018, organizado por el grupo editorial Editec, en Santiago de Chile el 8 de agosto de 2018.

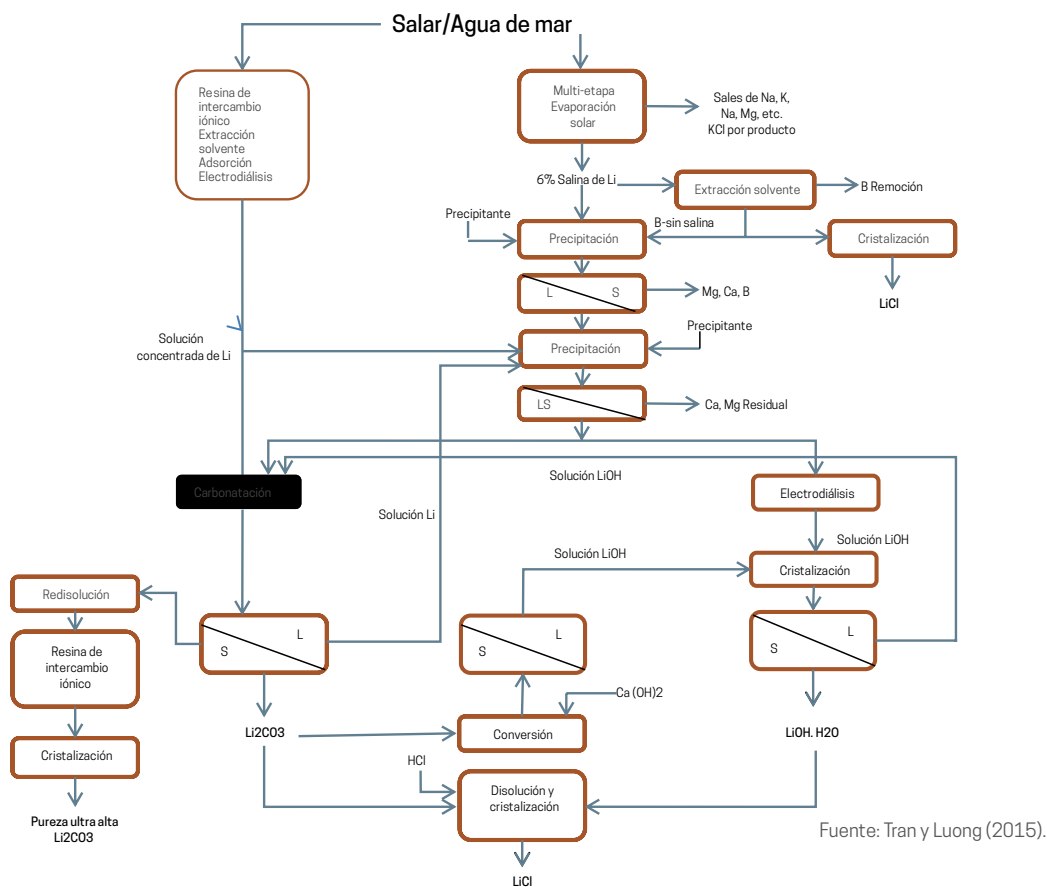
recen orientarse hacia la reinyección de dichos residuos en acuíferos subterráneos<sup>45</sup>. Dado el desconocimiento de la hidrogeología de los salares, esta práctica implicaría un alto riesgo de disolución del recurso, como consecuencia de una posible infiltración entre pozos de extracción (Flexer et al., 2018). Asimismo, el proceso supone la pérdida de grandes volúmenes de agua que, aun cuando por sus elevados niveles de salinidad no son aptos para consumo o irrigación, potencialmente podrían ser recuperados para otros fines (Calvo, 2017; Flexer et al., 2018)<sup>46</sup>.

La Figura 1 presenta un diagrama de flujo de la producción de compuestos de litio y subproductos (por ejemplo, cloruro de potasio e hidróxido de calcio). Este proceso requiere someter la salmuera extraída a distintas etapas de evaporación que tienen lugar en piletas, en las que se agrega cal para precipitar cloruro de sodio y cloruro de potasio junto a otras sales hasta que se alcanza un contenido de litio de ~6%. El procesamiento de compuestos de litio (carbonato, cloruro, hidróxido) continúa en una planta industrial, con un proceso químico donde se utilizan reactivos para extraer nuevos residuos y alcanzar la pureza deseada.

<sup>45</sup> Flexer et al. (2018) sostiene que, aunque el proceso de reinyección de residuos en los acuíferos no es informado por las empresas, se especula que, en sus operaciones en el Salar del Hombre Muerto en Argentina, FMC reinyecta al menos una parte de sus residuos.

<sup>46</sup> No existen datos publicados por las empresas concesionarias de los salares sobre el volumen de agua evaporada durante el proceso de obtención del litio. Flexer et al. (2018) estiman que, para un salar con una concentración de 700 ppm de litio, se evaporarían 7.669.388 m<sup>3</sup> de agua de salar en una operación de 20.000 tn de carbonato de litio anuales.

**Figura 1. Flujo de producción de compuestos de litio a partir de salares y agua de mar**





Actualmente, se encuentran en proceso de desarrollo tecnologías alternativas que pretendan atenuar algunas de las desventajas que presentan cada uno de los métodos más utilizados. Si bien algunos de estos desarrollos se basan en trabajos que, en muchos casos, fueron realizados hace décadas<sup>47</sup>, las perspectivas de demanda creciente del recurso han generado incentivos que dieron nuevo impulso a estos esfuerzos. En esencia, en el caso de los procesos a partir de minerales, se busca disminuir los OPEX, mientras que en el caso de los evaporíticos, se apunta a reducir los CAPEX, acortar los tiempos de cosecha y bajar los volúmenes de agua evaporada.

En el terreno de las explotaciones a partir de minerales de silicato, la firma Lithium Australia ha desarrollado un proceso –al que ha denominado “Sileach”– que evitaría el proceso de tostado del mineral, lo que le permitiría utilizar menos energía<sup>48</sup>. El mismo consiste en el uso de una solución de ácido sulfúrico como reactivo y de una preparación elaborada por la firma para disolver el litio del mineral de espodumeno. Lithium Australia sostiene que el proceso tendría un costo inferior a los USD 3.000 por tn, lo que lo ubicaría en un nivel comparable con el de las operaciones más eficientes en salares. Asimismo, el proceso permitiría reducir el tiempo para la obtención de litio a unas 4 horas. A comienzos de 2018 la empresa anunció la construcción de una planta piloto con una capacidad de producción de unas 2.500 tn LCE anuales.

Otra técnica corresponde a la firma estadounidense Simbol, que ha desarrollado una tecnología capaz de extraer carbonato de litio de máxima pureza a partir de depósitos hidrotermales, un subproducto de plantas de energía geotérmicas<sup>49</sup>. El proceso empleado sería el de “osmosis inversa” y obtendría, además de litio, manganeso y zinc. La transformación de estos productos utiliza derivados del proceso de las plantas de energía, como dióxido de carbono, aguas residuales y condensadas.

La empresa australiana Neometals desarrolló el proceso ELi, que convierte concentrado de espodumeno en una solución de cloruro de litio de alta pureza<sup>50</sup>. El método toma el litio a partir de minerales, le agrega ácido hidrocloreídrico y, mediante electrólisis, separa litio para formar hidróxido y carbonato de litio. Esta variante es intensiva en energía, lo que puede volverla muy costosa allí donde este insumo tenga un precio elevado.

La firma canadiense Nemaska Lithium también ha desarrollado un proceso para producir hidróxido de litio a partir de electrólisis, a un costo que, de acuerdo a sus estimaciones, ascendería a USD 2.811 por tn<sup>51</sup>. De acuerdo a la firma, el proceso sería adecuado para localizaciones con costos de energía bajos y predecibles<sup>52</sup>. El proceso toma concentrado de



<sup>47</sup> Por ejemplo, para una revisión de los métodos desarrollados hasta 2004 ver Garrett (2004).

<sup>48</sup> Ver <https://lithium-au.com/about-sileach/>.

<sup>47</sup> Por ejemplo, para una revisión de los métodos desarrollados hasta 2004 ver Garrett (2004).

<sup>48</sup> Ver <https://lithium-au.com/about-sileach/>.

<sup>49</sup> Ver [http://www.simbolmaterials.com/breakthrough\\_technology.htm](http://www.simbolmaterials.com/breakthrough_technology.htm).

<sup>50</sup> Ver <http://www.neometals.com.au/eli-process.php>.

<sup>51</sup> Ver <http://www.nemaskalithium.com/en/investors/press-releases/2018/2383c40c-3570-49e0-86f5-9df5112a253c/>.

<sup>52</sup> La firma pone como referencia el caso de Quebec, donde el costo de la energía es de USD 0,05 kWh.

espodumeno y lo procesa en sulfato de litio. Luego de varias etapas de remoción de impurezas, el sulfato es transformado mediante electrólisis en hidróxido de litio y luego monohidrato o carbonato de litio. Una de las claves del proceso para reducir los costos es que no utiliza cal.

Con relación a las tecnologías para explotación de salares, las técnicas en desarrollo buscan, esencialmente, evitar el proceso de evaporación de las salmueras para acortar los tiempos de obtención del litio procesado. En la Argentina, un equipo liderado por el investigador Ernesto Calvo, del Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE), del CONICET y la Universidad de Buenos Aires, ha desarrollado un método electrolítico que ha superado las pruebas de laboratorio. Actualmente, el proceso se encuentra en fase de prototipo y de fondeo para construir una planta piloto –sobre este último se vuelve más abajo en el presente documento (Calvo, 2017).

Entre las técnicas con mayor grado de avance se encuentra aquella desarrollada por la firma israelí Tenova Bateman, basada en la utilización de un solvente que, según sostiene la empresa, logra en solo un día una solución de cloruro de litio con una pureza superior al 99,9%<sup>53</sup>. En este proceso, la salmuera es bombeada y filtrada para remover el magnesio y el calcio. Aun si la salmuera tuviera concentraciones bajas de litio, se la mezcla con un producto químico orgánico desarrollado por la firma que permite obtener de manera selectiva el litio de alta pureza para la producción de hidróxido de litio. El solvente utilizado se traslada a tanques de sedimentación, desde donde se recoge, para ser reciclado y utilizado nuevamente. El proceso supone la reinyección de la salmuera libre de litio al salar. En octubre de 2017, la firma llegó a un acuerdo con Pure Energy Minerals para diseñar, construir y operar una planta piloto para analizar la viabilidad del proceso –ya probado en una mini planta que opera en Israel desde 2016<sup>54</sup>.

Otro de los métodos es el así llamado Proceso de Extracción Directa (Direct Extraction Process), desarrollado por la firma francesa ERAMET<sup>55</sup>. El proceso es, en esencia, similar al de Tenova, ya que utiliza una solución que permite recuperar el litio una vez que la salmuera haya sido separada del magnesio, el calcio, el boro y algunos sulfatos. La salmuera, ya sin litio, es luego reinyectada en el salar, mientras que el litio es procesado para obtener carbonato. De acuerdo a la firma, el proceso utiliza menos reactivos que los que requiere el proceso evaporítico, es menos intensivo en energía, reduce la producción de residuos y permite acortar a unos pocos días la obtención del producto final. Según se ha anunciado, el método ha superado ya la fase de prueba piloto. ERAMET tiene actualmente la concesión para operar los salares Centenario y Ratonés, en la provincia de Salta. En 2017, la firma anunció que



<sup>53</sup> <https://www.tenova.com/product/lithium-processing/>.

<sup>54</sup> <http://www.pureenergyminerals.com/pure-energy-minerals-announces-mou-with-major-technology-and-engineering-firms-for-innovative-lithium-pilot-plant/>.

<sup>55</sup> Ver <http://www.eramet.com/en/lithium>.


planea comenzar la construcción de una planta con capacidad de 20.000 tn LCE anuales, con fecha prevista de inicio de la explotación en 2021, donde se propone utilizar el método de Direct Extraction Process<sup>56</sup>.

La firma surcoreana Posco es otra de las que ha desarrollado un proceso químico y electrolítico para la extracción de litio de salmueras que no depende de la evaporación de salmueras. Sin embargo, las características del proceso se han mantenido en un alto nivel de reserva. De acuerdo a la información de las patentes, utiliza ácido fosfórico para precipitar fosfato de litio (Calvo, 2017). Según la empresa, la técnica permitiría recuperar litio a una tasa del 80-90% en aproximadamente 8 horas. Hasta el momento, Posco no ha logrado establecer alianzas duraderas con firmas que tengan concesión para la explotación de salares –en la Argentina, por ejemplo, mantuvo un acuerdo con Minera Exar (en aquel momento, bajo el control total de la canadiense Lithium Americas), a partir del cual montó una planta piloto donde probó su método (los resultados de desempeño no se hicieron públicos), y con Lithea (de la canadiense LSC Lithium). En mayo de 2018 se anunció que Posco compró tierras concesionadas a Galaxy Resources –para su proyecto Sal de Vida, en la provincia de Catamarca– para producir carbonato de litio. Sin embargo, no se aclaró qué método se utilizaría para tal fin.

Finalmente, otro método en estado de desarrollo incipiente corresponde a MGX Minerals. La firma ha desarrollado un proceso para salmueras altamente mineralizadas asociadas a yacimientos petrolíferos (petro-litio). Se trata, básicamente, de concentraciones de litio y otros minerales de las aguas residuales de la producción de petróleo y gas. En enero de 2017, MGX anunció que logró concentrar el litio de las aguas residuales mediante su proceso de recuperación rápida<sup>57</sup>.

### 3.1.4. Usos del litio

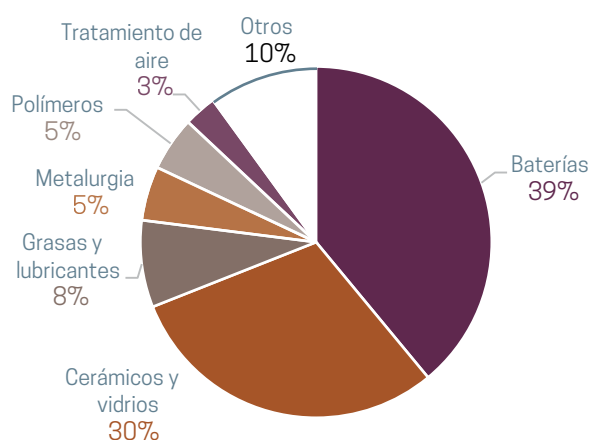
El litio tiene varios usos, cuya distribución según su peso en la demanda total se ilustra en el Gráfico 11. Al presente, la aplicación más importante (no solo por su tamaño, sino por su visibilidad en el debate público y su tasa de crecimiento) es la producción de baterías ion-litio para teléfonos celulares, computadoras portátiles y, más incipientemente, vehículos eléctricos e híbridos. Sin embargo, el litio tiene muchos otros usos que, aunque no son tan visibles para los consumidores, son muy importantes en términos de la demanda por el recurso. Por ejemplo, el litio se emplea como insumo en la producción de cerámicos y vidrios para darles mayor resistencia al cambio de temperatura. Asimismo, se usa en grasas y lu-

  
<sup>56</sup> Ver [http://www.eramet.com/en/system/files/publications/pdf/2017\\_annual\\_results\\_presentation.pdf](http://www.eramet.com/en/system/files/publications/pdf/2017_annual_results_presentation.pdf).

<sup>57</sup> Ver <https://www.mgxminerals.com/assets/lithium.html>.

bricantes, para hacerlas más resistentes al calor, y aleado con aluminio y cobre sirve para ahorrar peso en componentes estructurales de fuselaje. El litio se utiliza también en ciertos medicamentos psiquiátricos y en cerámicas dentales. El más liviano de los dos isótopos de litio ( $^6\text{Li}$ ) se utiliza en la producción de tritio para armas nucleares<sup>58</sup>.

**Gráfico 11. Distribución del consumo de litio por usos (2016)**

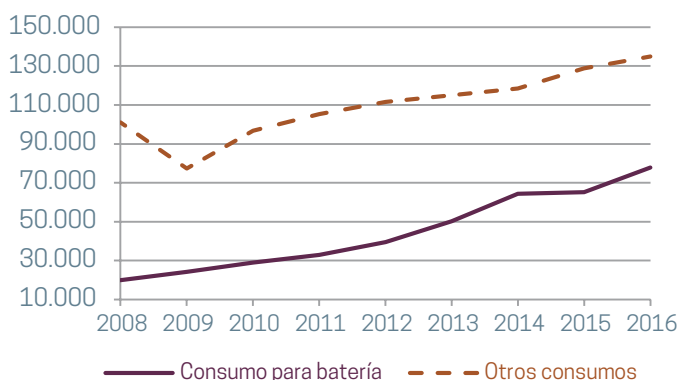


Fuente: MINEM (2017b), en base a datos del USGS.

Como se ha señalado, el primero de los usos en términos de importancia es el de baterías de ion-litio, segmento que se analizará con mayor detalle en la Sección 4.1. La demanda de litio para este uso se ha multiplicado en casi cuatro veces desde 2008 a 2016, pasando de 20.026 tn de LCE en 2008, a 77.821 en 2016 (Gráfico 12). Esto ha implicado que el consumo de litio para su uso en baterías haya pasado de un 17% al 39% del total de la demanda durante este período.

El segundo uso en términos de demanda de litio corresponde a aplicaciones en la industria de cerámicos y vidrio. En el caso de la fundición de vidrio, se agrega litio en su forma de espodumeno, petalita u otros óxidos de litio para reducir la temperatura de fusión y bajar el uso de energía entre un 5% y un 10%. Adicionalmente, la incorporación de litio al proceso reduce la expansión térmica del vidrio o cerámica, lo cual puede ser muy importante para productos donde existen cambios repentinos de temperatura como en los parabrisas de los autos, el instrumental de cocina o las superficies de cocción de vidrio. Por su parte, el litio también se usa para agregar color o mejorar el acabado acristalado en productos de vidrio y cerámica.

<sup>58</sup> Para una presentación técnica sobre distintos usos del litio, ver Christmann et al. (2015) y distintos artículos en Baran (2017).

**Gráfico 12. Consumo mundial de litio para baterías y otros usos (2008-2016; en tn de LCE)**

Fuente: Stormcrow (2017).

El tercero de los usos en orden de importancia corresponde a la producción de grasas y lubricantes. El litio se utiliza como aditivo en muchos tipos de grasas para aplicaciones industriales (por ejemplo, automotriz, agrícola). Las grasas de litio representan alrededor del 70% de la producción mundial de grasa utilizada en aplicaciones técnicas. Se trata de lubricantes excelentes y muy estables que no se descomponen cuando se exponen a altas temperaturas de funcionamiento. Como resultado, la grasa de litio se usa en sistemas mecánicos sellados como cajas de engranajes y sistemas hidráulicos. El hidróxido de litio se mezcla con ácidos grasos para producir "jabón de litio", un agente espesante que representa del 3 al 20% de la grasa producida (como resultado, el litio representa entre 0,2-0,3% del producto final).

El cuarto de los usos en importancia es el de aplicaciones del litio como aditivo en polvo para moldes utilizados en el proceso de fundición continua de la industria siderúrgica. El método de fundición continua representa el 90% de la producción mundial de acero, donde es importante el uso de fundentes en polvo para mejorar los controles de calidad. Agregar hasta 5% de litio reduce la viscosidad del molde y disminuye la temperatura a la que se comienza a cristalizar el acero, mejorando la eficiencia operativa.

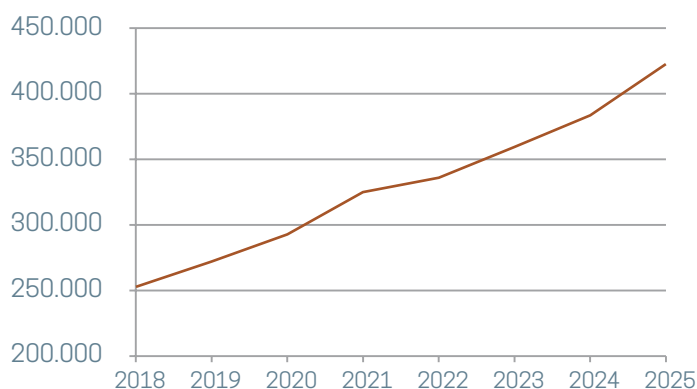
El quinto de los usos en orden de importancia es el de aplicaciones en polímeros. El litio en forma de butil-litio se utiliza como catalizador para la fabricación de varios productos de caucho sintético. Los productos más comunes son el estirenobutadieno y el polibutadieno que se utilizan en la fabricación de neumáticos para la industria automotriz. Los cauchos sintéticos también se usan en plásticos, utensilios de cocina y pelotas de golf.

El sexto de los usos en importancia es el de tratamiento de aire. El litio se utiliza en refrigeración industrial, control de humedad y sistemas de secado. Las soluciones de bromuro de litio actúan como un refrigerante en los sistemas de aire acondicionado, donde la humedad del aire caliente es absorbida por el bromuro de litio. La solución diluida luego pasa a través de un intercambiador de calor donde el agua se vaporiza, condensa y recoge, permitiendo que la solución de bromuro de litio sea reutilizada. El litio también se usa en sistemas de secado al aire (bromuro/ cloruro de litio) y en depuradores de CO<sub>2</sub> en entornos cerrados (aplicaciones mineras, espaciales y submarinas).

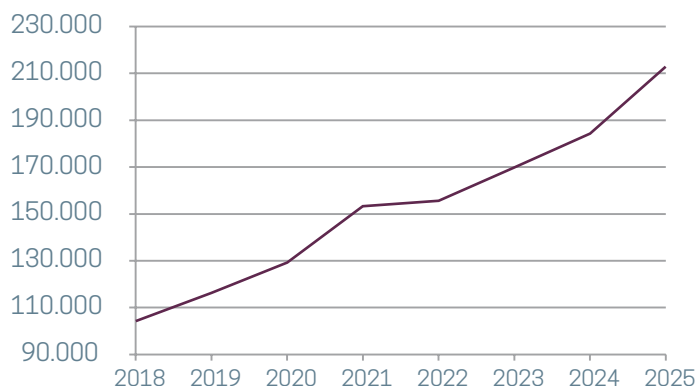
### 3.1.5. Proyecciones

Las proyecciones de la demanda global de litio realizadas en 2017 muestran un aumento de casi el 80% en 8 años (Gráfico 13), pasando de 234.788 a 422.614 tn de LCE en 2025. El uso con mayor proyección de crecimiento es el de baterías recargables, en particular para el sector de transporte. En el Gráfico 14 se observa la demanda proyectada de litio para baterías recargables hasta 2025, cuando se espera un consumo de 212.820 tn de LCE, lo que supondría duplicar aproximadamente los valores proyectados para 2018.

**Gráfico 13. Proyección global de la demanda total de litio 2018-2025 (en tn LCE)**



Fuente: Stormcrow (2017).

**Gráfico 14. Proyección de demanda global de litio para baterías recargables 2018-2025 (en tn de LCE)**

Fuente: Stormcrow (2017).

En cuanto a las proyecciones de demanda para otros usos, se espera que el mercado de cerámicas y vitrocerámicas aumente su volumen de 60.288 tn LCE en 2018, a 96.178 tn LCE, en 2025 (60% de incremento). Respecto del uso del litio en polímeros, se proyecta un crecimiento del 28% entre 2018 y 2025.

En lo que se refiere a la proyección de la oferta de litio para los próximos años, las estimaciones de 2017 preveían un fuerte incremento –de casi un 134%– hasta el 2021, pasando de 270.000 tn de LCE a 631.000, y desde 2021 a 2025 un leve aumento –cerca del 12%– alcanzando las 706.000 tn de LCE al final del período (Cuadro 5). El incremento proyectado en la oferta desde 2017 a 2025 (de 436.000 de tn de LCE) se ve explicado en un 51% por 5 productores: Greenbushes (aporta 55.000 tn LCE: 13%); Lithium Américas/SQM (aporta 50.000 tn LCE:10%); Nemaska (aporta 43.000 tn LCE: 10%); POSCO (aporta 40.000 tn LCE: 9%); y Neometal/ MIN/ Ganfeng (Aus) (aporta 33.000 tn LCE: 8%).

**Cuadro 5. Oferta proyectada de carbonato de litio desagregada por productor (tn de LCE, años seleccionados)**

Productor \ Año	2017	2021	2025
SQM	48.000	65.000	80.000
Greenbushes	75.000	130.000	130.000
Resto de China	22.000	50.000	50.000
Orocobre	13.000	35.000	35.000
FMC Lithium	22.000	22.000	22.000
Albemarle	50.000	70.000	80.000
Lithium Americas/SQM		25.000	50.000
Nemaska		38.000	43.000
Galaxy Resources (Arg)		15.000	20.000
Galaxy Resources (Aus)	15.000	20.000	20.000
Neometal/MIN/Ganfeng (Aus)	25.000	58.000	58.000
POSCO		30.000	40.000
Frontier Lithium		3.000	3.000
Pilbara Minerals		20.000	20.000
Eramet		15.000	15.000
Enirgi		20.000	20.000
y otros)		15.000	20.000
<b>Total (t LCE)</b>	<b>270.000</b>	<b>631.000</b>	<b>706.000</b>

Fuente: Elaboración propia en base a Stormcrow (2017).

### 3.2. La exploración y operación de salares de litio en la Argentina

En el marco de los objetivos que pretende abordar este trabajo, se han identificado problemas en cuatro áreas de intervención cuyo tratamiento permitiría una explotación más eficiente y sustentable del litio en salares. Para cada una de estas áreas, hemos relevado los intereses y proyectos en curso desarrollados por actores del sistema de CyT en la Argentina.

- Tecnologías de extracción
- Explotación integral de los salares



- Sustentabilidad de los salares
- Eslabonamientos productivos

A continuación desarrollaremos brevemente cada uno de los problemas identificados:

### 3.2.1 Tecnologías de extracción

El equipo liderado por Victoria Flexer dentro del CIDMEJU se encuentra actualmente trabajando en distintos proyectos que pretenden mejorar la eficiencia y la sustentabilidad ambiental de las técnicas evaporíticas utilizadas actualmente, así como también desarrollar innovaciones “radicales” que suponen la utilización de procesos no evaporíticos en la extracción de litio de salares.

La primera de estas líneas de trabajo apunta, en particular, al uso del agua y al aprovechamiento de recursos presentes en el salar que actualmente son residuos del proceso de separación del litio (sobre esto último volvemos con mayor detalle en el apartado siguiente). En relación a la primera cuestión, en colaboración con Judith Franco, investigadora del CONICET en el Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, de la Universidad Nacional de Salta, y con la participación de la firma Sales de Jujuy, existe un proyecto para el desarrollo de técnicas para que parte del agua generada durante el proceso de evaporación pueda ser luego utilizada, por ejemplo, en actividades de riego en explotaciones agrícolas. Para ello se está trabajando en la cobertura de las piletas con membranas, lo que además de lograr el objetivo de la recuperación, evitaría que el proceso de evaporación sea afectado por lluvias, acortando el tiempo para la obtención del recurso.


Otra línea de trabajo pretende, mediante la producción local de biogás, reemplazar el dióxido de carbono y el carbonato de sodio utilizados en el proceso de producción del carbonato de litio, los que son actualmente transportados desde el llano. Este proyecto, que se realiza en colaboración con la oficina del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) que opera en Palpalá (Jujuy), se orienta a desarrollar procesos para biodigerir las aguas negras de los campamentos que tienen las empresas mineras en torno a las áreas de explotación. La generación de biogás contribuiría, además, a mejorar la gestión ambiental, puesto que actualmente el tratamiento de aguas negras resulta deficiente. Sin embargo, el incentivo para que las empresas colaboren en este tema, depende, como en otros casos, de la voluntad y capacidad de fiscalización así como también del enforcement de las normas ambientales por parte de la autoridad de aplicación correspondiente.

En cuanto al desarrollo de métodos no evaporíticos, cabe mencionar el trabajo llevado adelante por el equipo de Ernesto Calvo –del que Victoria Flexer formó parte<sup>59</sup>. El proyecto, que consiste esencialmente en un método de recuperación electroquímica en un medio acuoso, análogo al funcionamiento de baterías de litio-ion, ha sido explicado por Calvo del siguiente modo:

“El método desarrollado para extraer litio de salmueras de salares de altura consiste en utilizar un reactor electroquímico con dos electrodos, uno selectivo a iones litio y el otro selectivo a iones cloruro. De tal modo que se pone en contacto salmuera, que contiene cloruros de litio, sodio, potasio, magnesio, etc., con los electrodos y pasa una corriente eléctrica por la cual se extraen los iones litio y cloruro en electrodos opuestos. En un segundo paso, se reemplaza la salmuera por una solución de cloruro de litio de recuperación y se invierte la polaridad de los electrodos, resultando en la eliminación de cloruro y litio, respectivamente, y la solución se enriquece en cloruro de litio, no afectando el agua y los otros componentes de la salmuera” (Energía Estratégica, 2015).

Este método permitiría acortar el tiempo necesario para obtener litio, a la vez que habilitaría la recuperación de agua dulce y la reducción del volumen de residuos generados por el proceso. Asimismo, a diferencia de los métodos no evaporíticos basados en precipitantes o resinas de intercambio iónico, este método no utiliza ácidos o reactivos químicos. Otra de las virtudes del método es que, a diferencia de otros desarrollos basados en sistemas electroquímicos para la recuperación de litio, ha demostrado estabilidad de los electrodos y capacidad de mantener altos niveles de captura de litio por más de 200 ciclos (Flexer et al., 2018).

La tecnología se encuentra patentada (a nombre del CONICET) y ha sido exitosa en las pruebas de laboratorio. Actualmente, se avanza en el INQUIMAE con las pruebas de un prototipo que permita perfeccionar el método y contribuir al escalado. Debe señalarse, sin embargo, que el proceso no ha estado exento de dificultades tanto de orden técnico como de gestión. Inicialmente el CONICET había cedido los derechos de comercialización a Y-TEC, una empresa de tecnología conformada en un 51% por YPF y en un 49% por el CONICET, con el compromiso de que la firma construya una planta piloto en la provincia de Jujuy, cuyo costo estimado era de USD 800.000. Sin embargo, Y-TEC no ha mostrado interés en avanzar en la construcción de la misma, puesto que se trata de un proyecto de alto riesgo que, por otra parte, no se encuentra entre sus objetivos estratégicos actuales. El equipo de Calvo ha solicitado que se rescinda el contrato entre el CONICET e Y-TEC y ha iniciado la recolección de

 <sup>59</sup> En 2017, Ernesto Calvo ganó el primer premio en el concurso internacional Bright Minds Challenge creado para ayudar a científicos a escalar ideas relacionadas con la energía solar y la acumulación de energías renovables. Ver <https://www.dsm.com/corporate/media/informationcenter-news/2017/06/2017-06-13-dsm-and-partners-announce-bright-minds-challenge-award-winner.html>

los fondos necesarios entre empresas de capitales de riesgo.

Se debe asimismo señalar que en el proceso de desarrollo de la ingeniería de concepto – encargado a la firma santafecina Clorar– se han identificado problemas en el método que comprometen la viabilidad industrial, así como también económica del proyecto. Si bien el informe de Clorar es de carácter confidencial, Calvo ha señalado algunos de los desafíos técnicos que enfrenta el proceso de escalado. Entre ellos se encuentran: la optimización del transporte de los iones de litio y cloruro a gran escala, la distribución de corriente y la gestión de gradientes potenciales energía y de temperatura. Asimismo, para estar en condiciones de competir con los métodos utilizados actualmente, se debe asegurar el diseño de reactores de múltiples pilas que sean de una gran superficie, así como de electrodos de gran tamaño que utilicen materiales económicos. Por su parte, el material de los electrodos de la batería debe ser estable en términos mecánicos y químicos a lo largo de muchos ciclos en una operación de gran escala (Calvo, 2017; Rocca, 2017).

Aunque el estudio se ha concentrado principalmente en las operaciones litio en salares, corresponde aquí señalar que, en los últimos años, como consecuencia del aumento en el precio del litio, los yacimientos de rocas pegmatíticas han generado creciente interés (actualmente existen seis proyectos en fase de exploración). En este marco, un equipo de la Universidad Nacional de Cuyo, integrado por Mario Rodríguez y Gustavo Rosales, ha desarrollado un proyecto para la recuperación de litio a partir de los yacimientos que se encuentran en las provincias de Córdoba, San Luis y Salta. Como resultado de las investigaciones llevadas a cabo por el equipo, se patentó un proceso hidrometalúrgico para la obtención de litio a partir de pegmatitas que presenta dos ventajas respecto al utilizado actualmente por la industria.

En primer lugar, a diferencia del método tradicional, que resulta de someter el concentrado de espodumeno a una calcinación a una temperatura de 1050°C, para luego tratarla con ácido sulfúrico, el proceso desarrollado trabaja con el concentrado mineral en la forma natural, mediante un proceso químico selectivo que se desarrolla en un recipiente cerrado, a una temperatura superior al punto de ebullición del agua (entre 100° y 150°). Además, de ser mucho más limpio en términos ambientales, el proceso permite reducir el consumo de energía, lo que baja significativamente los costos operativos. En segundo lugar, mientras que los métodos tradicionales se concentran únicamente en la obtención del litio, el método desarrollado permite recuperar otros minerales como sales de silicio, aluminio y hierro. De este modo, no solo es posible hacer una explotación económica más integral de los yacimientos, sino que, además, se reducen los pasivos ambientales puesto que, en el método tradicional,

los sub-productos del proceso son considerados residuos.

El método ha despertado el interés de la firma australiana Latin Resources, que tiene actualmente la concesión para la prospección de más de 1.000 km<sup>2</sup> en los distritos pegmatíticos de Catamarca y San Luis. La firma ha financiado –mediante su subsidiaria local, Recursos Latinos– la construcción de una planta piloto en la Universidad Nacional de Cuyo con el propósito de avanzar en el desarrollo del método. Si los resultados fueran positivos, la empresa contaría con la opción para comprar la licencia a la universidad y al CONICET. Luego, avanzaría en la construcción de una planta piloto y, eventualmente, en la expansión del método a escala industrial.

### 3.2.2 Explotación integral de los salares

El plan de negocios de las empresas que actualmente operan en la Argentina –y, por lo tanto, las técnicas utilizadas en la explotación– se ha focalizado, principalmente, en la extracción de litio de las salmueras y la comercialización del carbonato de litio. Sin embargo, las salmueras contienen otros recursos con potencial interés económico –entre los que se encuentran sodio, potasio, magnesio, calcio, estroncio, bario, rubidio y cesio–, cuya explotación no ha sido considerada hasta el momento (Galli, 2017). El caso argentino difiere en este sentido de la experiencia de las empresas que operan en Chile, las cuales, habiendo comenzado la explotación de los salares muchos años antes del crecimiento exponencial de la demanda y del precio del litio, han adoptado modelos de negocio que incluyen la producción y la comercialización de otros productos, como el cloruro y sulfato de potasio, el ácido bórico y el cloruro magnésico.

De acuerdo a algunos de los expertos entrevistados, en la Argentina el interés por extraer rápidamente litio para aprovechar el fuerte aumento de su precio ha llevado a desatender estos recursos. En este sentido, varios de los entrevistados han señalado que el Estado provincial, como dueño de los salares y “socio” en la apropiación de la renta minera, debería fomentar una explotación más integral de aquellos.

Una primera condición para encarar una explotación integral de los recursos consiste en mejorar el conocimiento de los salares para lograr identificar y cuantificar los recursos que contienen, ubicar los sitios en los que se encuentran con mayor concentración, y, así, convertirlos en reservas que permitan su explotación económica. Según se ha relevado, hay escasez de información –al menos de carácter pública– sobre este aspecto de los salares.

De algún modo, esto limita el poder de negociación de las provincias frente a las empresas a cargo de las concesiones de explotación. En este terreno, SEGEMAR está trabajando de manera conjunta con los servicios geológicos de China y Estados Unidos en proyectos que comprenden, entre otras cuestiones, la evaluación de los recursos minerales de los salares de la Puna.

En segunda instancia, se deberían desarrollar técnicas eficientes de procesamiento de la salmuera que permitan la explotación de los distintos recursos. El modelo utilizado tendrá implicancias sobre el volumen de salmuera necesaria para la explotación y, por lo tanto, en última instancia, sobre la sustentabilidad de los salares. Por lo tanto, es necesario que dichas técnicas se orienten a maximizar el grado de recuperación, lo que implica minimizar el área de captación asociada a cada punto de extracción y la perturbación que el bombeo ocasiona sobre el sistema hidrogeológico. El caso de Chile ilustra la importancia de este punto, ya que la explotación de otros recursos (especialmente el potasio) presentes en los salares ha llevado a una sobre explotación de la salmuera (Pérez Vidal, 2014).

El equipo de Victoria Flexer en el CIDMEJU está trabajando en el desarrollo de técnicas para la recuperación de residuos derivados del proceso de evaporación que contienen sales con potencial económico y que no son explotados en la actualidad –por ejemplo, hidróxido de magnesio y sulfato de calcio–, con aplicaciones en la industria cementera y en la producción de óxidos refractarios. El INTI, en tanto, ha solicitado un financiamiento de alrededor de \$ 13 mn al Ministerio de la Producción, a través de la línea del Programa de Competitividad de Economías Regionales (PROCER), para la construcción de una planta piloto de laboratorio para experimentar con salmueras provenientes de los salares jujeños. Entre otros objetivos, la planta permitiría diseñar procesos para hacer un aprovechamiento más eficiente de los recursos catiónicos del salar, mejorando los procesos de separación y purificación de cationes que puedan tener uso industrial.

Es importante señalar, antes de cerrar esta sección, que, más allá de los desarrollos tecnológicos que se puedan generar para realizar una explotación integral de los salares, el régimen de incentivos que diseñen las autoridades competentes puede jugar un papel importante en la definición de modelos de negocios para la explotación comercial de los recursos extraídos y su eventual procesamiento. Es posible pensar que las actividades de explotación de los distintos recursos no deben necesariamente estar a cargo de la empresa que tiene la concesión para la explotación del litio en el salar, sino que podrían ser realizadas por otras firmas que operen dentro o en un espacio anexo a la explotación principal.

### 3.2.3 Sustentabilidad de los salares

La explotación de los salares que contienen litio tiene características particulares que la diferencian de la operación de explotaciones de minería metálica. En particular, se destaca el hecho de que los salares son ecosistemas naturales dinámicos y frágiles. Su equilibrio y su sustentabilidad económica pueden verse severamente afectados por un manejo inadecuado de las actividades de extracción. El bombeo de salmuera en un determinado punto de la operación puede alterar la concentración –y, por lo tanto, las condiciones de recuperación– de recursos presentes en otros puntos. Asimismo, los cambios en el ecosistema generados por la explotación del salar tienen potenciales efectos sobre los asentamientos humanos que se encuentran en las inmediaciones del salar. Incluso la sustentabilidad del salar puede, potencialmente, verse afectada por formas inadecuadas de explotación y por un tratamiento inapropiado de los residuos (sólidos y líquidos) generados ya sea sobre la superficie del salar, en su entorno o aquellos que son reinyectados en el mismo –con efectos sobre los niveles de concentración que son poco conocidos por ahora– (Flexer et al., 2018).

Se plantea, así, un conflicto entre el interés de corto plazo de maximizar la extracción de litio, por un lado, y la maximización de la renta de explotación y la preservación de las condiciones de vida de las comunidades locales en el largo plazo, por el otro. Para garantizar el equilibrio entre las condiciones de explotación presentes y futuras, es necesario, en primer lugar, establecer reglas adecuadas, así como también los correspondientes mecanismos de fiscalización y enforcement. Cabe aquí destacar que la regulación de las actividades de explotación también es necesaria para evitar los conflictos entre las empresas a cargo de las actividades de extracción. Por ejemplo, el hecho de que una misma cuenca pueda ser explotada por distintas firmas significar que alguna de estas pueda estar extrayendo salmueras en las profundidades de la concesión entregada al vecino. En la industria petrolera, por ejemplo, cuando varias empresas explotan un mismo campo de petróleo, se conforma una unión transitoria de empresas (UTE) y se trabaja en conjunto.

Los primeros pasos para crear un sistema normativo que mejore las condiciones de sustentabilidad de las explotaciones de litio en la Argentina se dieron en 2017, cuando, en el marco de un amplio acuerdo minero a nivel nacional, se incluyó un compromiso entre las provincias litíferas y la Nación para crear la así llamada “mesa de litio en salares”, integrada por equipos interdisciplinarios, cuya tarea es acordar protocolos de estudio, exploración y desarrollo del recurso. Esta mesa tiene como objetivo establecer “las pautas hidrogeológicas, de proceso, ambientales, normativas, etc. que adoptarán las referidas Provincias, con el objeto de lograr un contexto común para el adecuado desarrollo de este recurso” (MINEM, 2017a, p.

28)<sup>60</sup>. Según la información recabada en el trabajo de campo, se establecerán nuevas exigencias de protocolo ambiental para las empresas y estudios anuales de balance hídrico. Sin embargo, debe destacarse que, siguiendo la opinión de los expertos entrevistados, el cumplimiento de estas reglas requiere el fortalecimiento de la infraestructura y de las capacidades de monitoreo y enforcement de las autoridades de aplicación.

Otra dimensión relevante para garantizar la sustentabilidad de los salares refiere a la necesidad de mejorar el conocimiento disponible sobre la composición y dinámica de los salares, así como de las técnicas de extracción utilizadas. A pesar de la sensibilidad de esta cuestión, existen muy pocos estudios sobre el comportamiento hidrodinámico de los salares ricos en litio<sup>61</sup>. Entender mejor la hidrogeología de los salares y los factores que gobiernan su dinámica contribuiría al desarrollo de procesos de explotación más sustentables.

En particular, es importante entender mejor cuáles son las modalidades y los tiempos de recarga de la salmuera. Ello implica, por ejemplo, identificar cuáles son los acuíferos que hay en los salares y cuántos están conectados con acuíferos de agua dulce, si la salmuera se recarga a través de ríos subterráneos o si el recurso está encapsulado en cimientos con largos tiempos de recarga que lo convierten en un fósil. Estas cuestiones no solo tendrían implicancias para la sustentabilidad de la explotación económica del recurso en las zonas específicas de bombeo, sino también para determinar qué otras áreas del salar que forman parte de los recursos de las comunidades que habitan en la región podrían verse negativamente afectadas por entrar en competencia con las zonas donde tienen lugar las actividades de bombeo.

Hasta el momento, los estudios hidrogeológicos de los salares han estado, fundamentalmente, bajo la responsabilidad de las empresas, lo que limita el carácter público de sus resultados, más allá de lo exigido por la normativa vigente. Éstas, por su parte, son muy reticentes a permitir el trabajo de investigadores independientes del sistema de CyT dentro de las áreas concesionadas y, además, no han mostrado interés en profundizar el conocimiento del salar en relación a las cuestiones señaladas más arriba. En general, las empresas tienen mayor interés por experiencias de colaboración que puedan derivar en servicios de transferencia de tecnología para resolver problemas específicos identificados por ellas. En este sentido, existen visiones encontradas sobre el papel que deberían jugar las secretarías de minería de las respectivas jurisdicciones involucradas, sobre las herramientas legales disponibles, así como sobre las capacidades y los recursos con los que cuentan los gobiernos para favorecer las actividades de investigación en los salares. Otra limitación es de tipo económico. Los equipos de investigación locales cuentan con proyectos de presu-



---

<sup>60</sup> MINEM (2017a).

<sup>61</sup> Sobre esta cuestión, Flexer et al. (2018) recomiendan la lectura de Houston et al. (2011) y Border y Sawyer (2014).

puesto muy bajo que no permiten la compra del equipamiento necesario ni la sustentación de gastos operativos onerosos.

Un mejor conocimiento de los orígenes geológicos de los salares, y en particular del litio, permitiría también entender las condiciones de renovación del recurso. En relación a ello, los geólogos entrevistados señalaron preguntas para los cuales no cuentan con respuestas. ¿El litio está contenido en alguna otra fase mineral? En ese caso, se podría ir disolviendo el mismo para obtener el recurso. Pero, ¿En qué mineral? ¿En sales, en arcillas? Esta carencia de conocimiento concierne a todo el sistema andino de salares –el así llamado triángulo del litio–, con la parcial excepción del Salar de Atacama, que es el mejor estudiado en la región<sup>62</sup>.

El trabajo que está desarrollando el SEGEMAR busca cubrir algunas de las áreas de vacancias aquí identificadas. En el marco de los ya citados convenios con los servicios geológicos de China y Estados Unidos<sup>63</sup>, esta institución está realizando tareas orientadas, entre otras cosas, a: identificar las fuentes de los metales alcalinos en salmueras; entender la distribución y el potencial del litio en la Puna; identificar los elementos geológicos que controlan la mineralización; estudiar la génesis y distribución del litio en las salmueras de las provincias litíferas; definir el modelo hidrogeológico de una cuenca en cada provincia y evaluar su potencial de litio. Por último, aunque el presente documento se concentra especialmente en la explotación de salares, cabe aquí destacar que SEGEMAR también está realizando estudios en colaboración con los servicios geológicos de Brasil y de China sobre la metalogénesis del litio en pegmatitas de las Sierras Pampeanas.

### 3.2.4. Eslabonamientos productivos

Como se ha discutido en secciones previas, ciertos países de altos ingresos con dotaciones relativamente abundantes de recursos naturales, como Australia y Noruega, convirtieron sus industrias extractivas en una plataforma de desarrollo a partir de la creación de eslabonamientos que han favorecido procesos de creación y difusión de conocimiento a través de su estructura productiva. Esto ha inspirado a países de ingreso medio, como Chile y Brasil, a adoptar políticas para promover el desarrollo de proveedores y la innovación en torno a estos sectores. Se inscriben dentro de la misma lógica los planes de la Argentina para la explotación de yacimientos de petróleo y gas no convencionales en Vaca Muerta (Landriscini & Carignano, 2015).

A priori, podríamos concluir que los métodos de explotación de litio de salares que prevale-



<sup>62</sup> La preocupación de los geólogos locales está en línea con lo señalado por la USGS, que en su informe sobre el litio, señala: “Como en el caso de la mayor parte de los elementos críticos, los recursos de litio no han sido estudiados a fondo, a diferencia de recursos metálicos convencionales como el cobre y el plomo. La investigación básica sobre los depósitos de litio mejor conocidos (pegmatitas y salares) así como sobre los depósitos más nuevos (arcillas y zeolitas) contribuiría a identificar nuevos recursos y podría asegurar que la transición de combustibles fósiles a fuentes renovables de energía no esté limitada por la oferta de litio. ¿Por qué estos depósitos solo se forman en un pequeño subconjunto de cuencas cerradas en regiones áridas? En la provincia geológica de ‘Basin and Range’, por ejemplo, unas 150 cuencas comparten las mismas características básicas, pero unas pocas tienen salares de litio. Otra cuestión clave concierne a la escala temporal de la génesis de los salares de litio –¿son los salares ricos en litio como combustibles fósiles, o se recargan en cortos períodos de tiempo?” (Bradley et al., 2017, p. 17; traducción propia).

<sup>63</sup> Uno de los resultados de la colaboración entre el SEGEMAR y el USGS ha sido el Argentinian Lithium Map (U.S. Geological Service, 2017).



cen actualmente no ofrecen, en comparación con la minería tradicional, demasiadas oportunidades para la creación de eslabonamientos productivos aguas arriba. Sin embargo, el interés por la minería del litio en la Argentina es tan reciente que la brecha es muy grande respecto a países donde no solo el recurso es explotado desde hace más años, sino que, además, cuentan con una rica tradición minera –por ejemplo, Chile. Este atraso relativo sugiere que la Argentina tiene un largo sendero por recorrer en el desarrollo de capacidades locales, por ejemplo, en las fases de exploración, prospección y explotación. Como se ha mencionado anteriormente, existe en el país un amplio número de salares con potencial para ser explotados que demandan estos servicios.


Entre las actividades a desarrollar se incluyen, por ejemplo, los servicios de consultoría geológica e hidrogeológica, ambiental, social y económica, así como los servicios de ingeniería conceptual, básica y de detalle de las plantas. También, se incluyen servicios relacionados con tecnologías de la comunicación e información dirigidos a la automatización de las plantas, ejercicios de simulación, o comunicaciones remotas. Asimismo, si bien el proceso de extracción de litio basado en la evaporación de salmueras es conocido y tecnológicamente maduro, el mismo requiere ser adaptado a las características de cada salar y del medioambiente en el que se encuentra. En general, las empresas productoras que operan en la Argentina desarrollan este tipo de procesos internamente o contratan servicios de ingeniería a empresas extranjeras.

Otro tipo de actividades incluyen la construcción, modificación y expansión de las pozas, las tareas de perforación y la construcción de plantas de tratamiento de salmueras y producción de carbonato de litio. También, en el área de la construcción, se encuentra la instalación de campamentos y servicios para los trabajadores que operan en los salares –mayormente alejados de centros urbanos. En este caso, se verifica una mayor participación de empresas de ingeniería nacionales.

En la fase operativa de las plantas, existen también oportunidades para la generación de eslabonamientos a partir de la radicación de productores de reactivos y productos para la remoción de sales que son utilizados en las distintas fases de procesamiento de la salmuera para la obtención del carbonato de litio: cal, carbonato de sodio, hidróxido de sodio. Estos ítems, que explican entre el 45% y el 70% del OPEX de las plantas procesadoras de carbonato de litio<sup>64</sup>, son actualmente importados o traídos de otras provincias, lo que aumenta los costos operativos. Las perspectivas de aumento del número de salares explotados constituye una oportunidad para favorecer la localización de productores en la Puna.

Además del potencial para la generación de eslabonamientos vinculados a la producción de

---



<sup>64</sup> Los datos surgen de la presentación realizada por Eduardo Montegu Gerard, de la firma WorleyParsons, en el Foro del Litio 2018, organizado por el grupo editorial Editec, en Santiago de Chile el 8 de agosto de 2018.

carbonato de litio, existen oportunidades para el desarrollo de servicios que, aunque de baja complejidad tecnológica, pueden tener efectos muy positivos sobre el entorno local. Debe recordarse que, en general, se trata de localidades geográficamente aisladas y con una estructura productiva poco sofisticada y con limitaciones para generar empleo.

La operación regular del salar genera demandas de distintos tipos de servicios entre los que se encuentran servicios de transporte y logística, mantenimiento de planta e infraestructura, alimentación, lavandería y limpieza, etc. Si bien se trata de servicios de poca sofisticación, suponen desafíos muy importantes para el entorno local y para quienes ven en esta demanda la oportunidad de iniciar una actividad económica. Esto concierne, en particular, a las comunidades de pueblos originarios, especializadas en actividades primarias que no tienen vinculación con estos servicios y que, en general, no han ingresado al mundo del trabajo formal.

En este sentido, en el caso de Jujuy, resultan estratégicas las actividades de capacitación realizadas por la oficina de Palpalá del INTI, orientadas a la creación de capacidades básicas de gestión y mejoras de productividad en proveedores locales. Estas actividades se desarrollan en colaboración con las firmas mineras, en el marco de sus áreas de responsabilidad social empresarial, social o de valor compartido. En general, se trata de empresas gestionadas por comunidades locales. La experiencia ha demostrado que es posible que aquellas desarrollen capacidades que luego permiten la prestación de servicios a otros clientes. Las áreas de intervención incluyen el diseño y gestión de presupuesto, las formas de relacionamiento con las empresas y la gestión de órdenes de trabajo, entre otras.



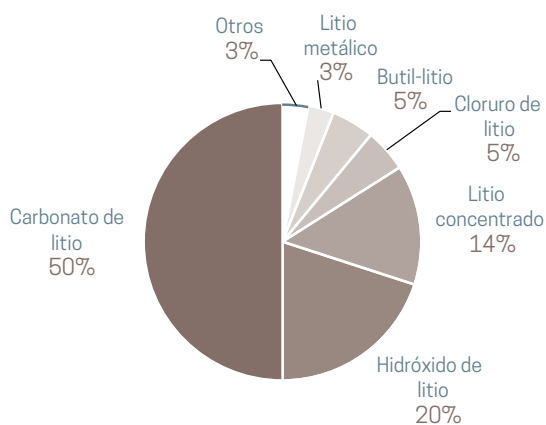
## 4

## EL LITIO AGUAS ABAJO: HACIA LA PRODUCCIÓN DE BATERÍAS

## 4.1.El escenario internacional

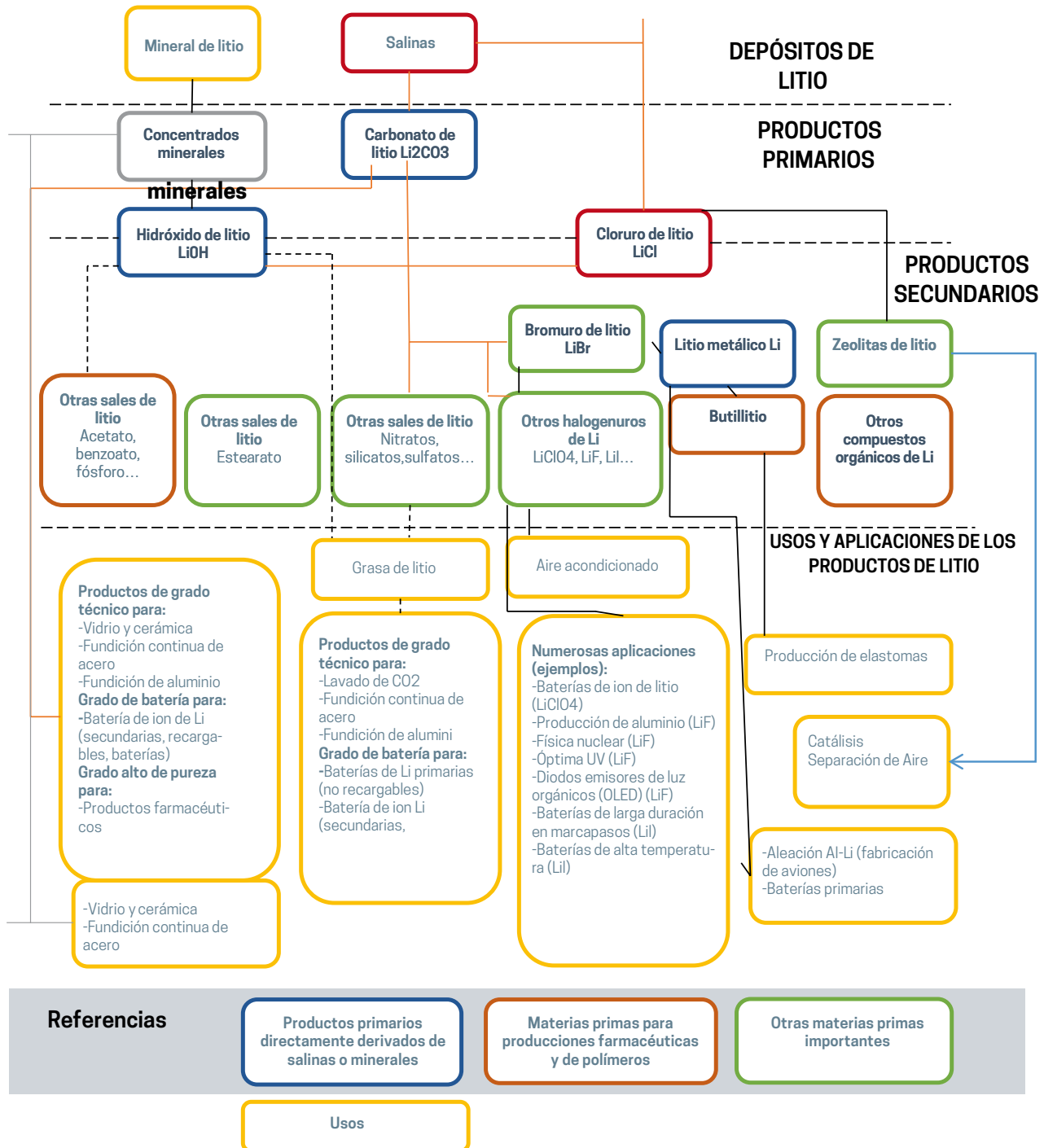
## 4.1.1.Derivados y productos en base a litio

En la Figura 2 se observa la cadena de derivados del litio, desde los minerales concentrados –en el caso de las fuentes de espodumeno– y el carbonato de litio hasta sus principales usos. Como se observa en el Gráfico 15, el producto más importante en términos de volumen de mercado es el carbonato de litio –con el 50% del mercado global–, que se obtiene a partir del procesamiento de espodumeno o, como se ha visto anteriormente, luego del proceso de evaporación de las salmueras extraídas de los salares. Sin embargo, el hidróxido de litio, como se explicará más adelante, tiene un mayor potencial de crecimiento por su utilización en tecnologías de baterías que tienen una gran proyección de demanda.

**Gráfico 15. Mercado global de productos de litio (2015)**

Fuente: Deutsche Bank (2016).

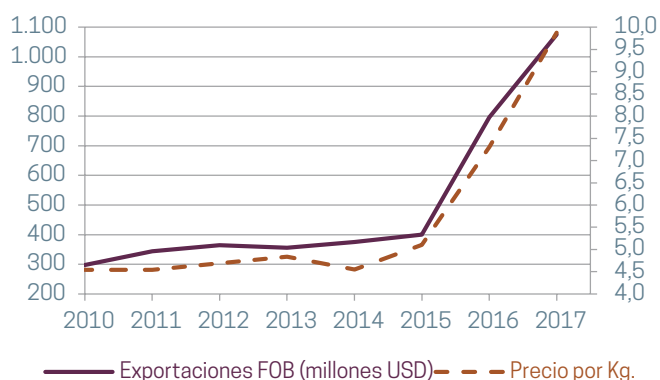
Figura 2. Productos de litio, derivados y usos



Fuente: Deutsche Bank (2016).

Las exportaciones mundiales de carbonato de litio se han mantenido estables desde 2010 hasta 2015. A partir de ese año, dieron un gran salto, pasando de USD 400 mn a USD 1.075 mn en 2017. Este crecimiento se explica fundamentalmente por la variación en el precio FOB. De acuerdo a estimaciones realizadas en base a los datos de COMTRADE, mientras que entre 2010 y 2015 se había mantenido estable entre USD 4.500 y USD 5.100 por tonelada, en 2017 alcanzó los USD 9.900 por tonelada, en promedio (Gráfico 16).

**Gráfico 16. Evolución de las exportaciones mundiales de carbonato de litio (eje izquierdo, valor FOB en USD mn) y del precio medio por kg de exportaciones (eje derecho)(2010-2017)**

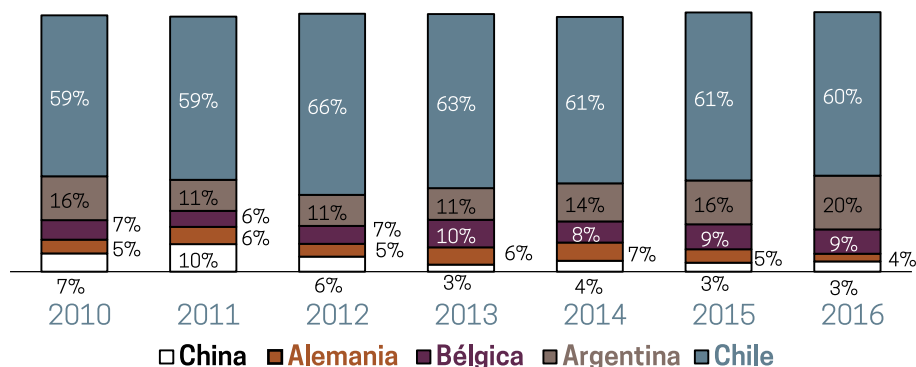


Fuente: Elaboración propia en base a COMTRADE.

En el Gráfico 17 se observa la participación de los principales países exportadores de carbonato de litio entre 2010 y 2016. Chile ha mantenido la primera posición en dichos años, con una participación de entre el 59% y el 63% de las exportaciones (medidas en valor), seguido por la Argentina, con una participación de entre el 11 y el 20%. Los siguientes países (Bélgica, Alemania y China) en conjunto nunca han sumado más del 22% de las exportaciones globales en este período.

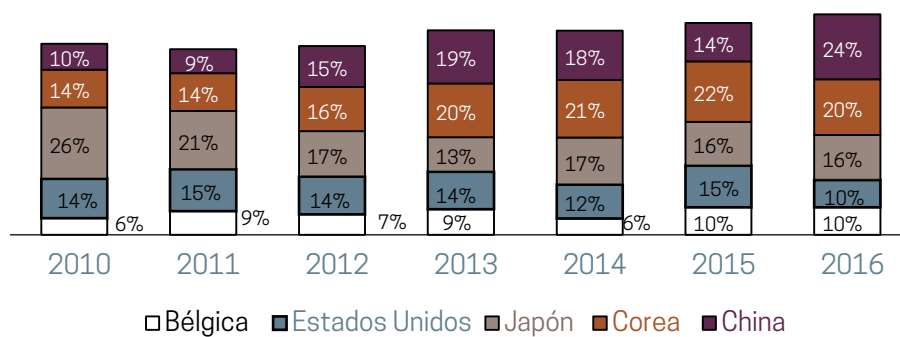
Por su parte en el Gráfico 18 podemos observar la participación de los principales países importadores de carbonato de litio para los mismos años. Aquí la participación es un poco más equitativa y los diferentes países han ido variando su posición relativa como importadores a lo largo del período. Mientras que en el 2010 el principal importador fue Estados Unidos, con un 26% (seguido por Corea y Japón con un 14%, China con un 10% y Bélgica con un 6%), para 2016 China se había convertido en el mayor importador de carbonato de litio con un 24% (seguido por Corea con un 20%, Japón con un 16% y en cuarto lugar Estados Unidos y Bélgica con alrededor del 10% de las importaciones).

**Gráfico 17. Participación de los principales exportadores de carbonato de litio (2010-2016)**



Fuente: Elaboración propia en base a COMTRADE.

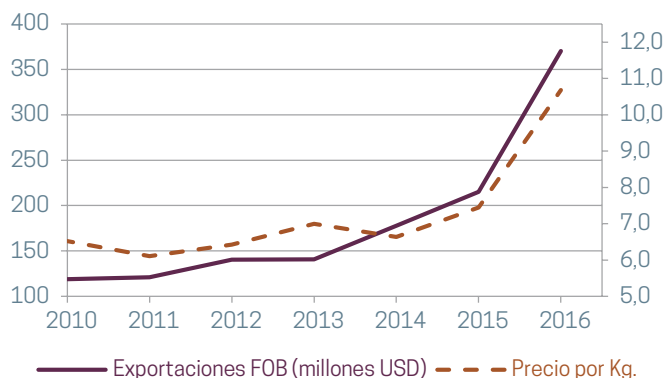
**Gráfico 18. Participación de los principales importadores de carbonato de litio (2010-2016)**



Fuente: Elaboración propia en base a COMTRADE.

El valor de las exportaciones mundiales de óxido e hidróxido de litio se ha casi duplicado entre 2010 y 2015, pasando de los USD 119 a 215 mn. En 2016, las mismas tuvieron un salto abrupto al pasar a USD 370 mn, principalmente como consecuencia del aumento del precio, que promedió los USD 10.700 por tonelada –entre 2010 y 2015 había oscilado entre USD 6.100 y USD 7.400 dólares (Gráfico 19).

**Gráfico 19. Evolución de las exportaciones mundiales de óxido e hidróxido de litio (eje izquierdo, valor FOB en USD mn) y del precio medio por kg de exportaciones (eje derecho) (2010 - 2016)**



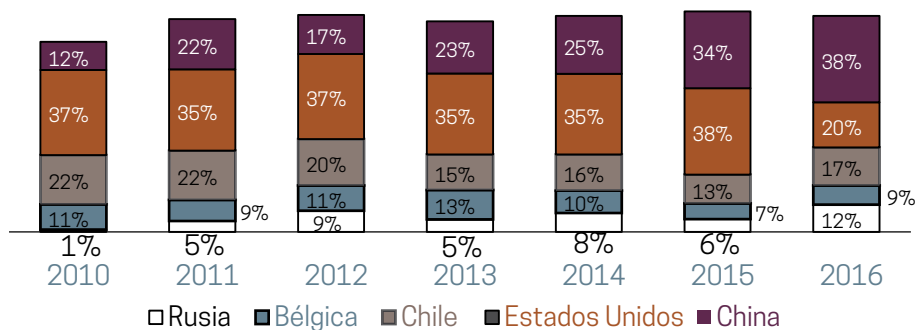
Fuente: Elaboración propia en base a COMTRADE.

El hidróxido de litio se utiliza, principalmente, en la producción de grasas y lubricantes, así como aditivo para la coloración de polímeros y telas y para la absorción de CO<sub>2</sub> en equipos de refrigeración. Su demanda ha aumentado en los últimos años ya que sus propiedades lo vuelven conveniente como insumo en la fabricación de cátodos de baterías –principalmente litio-níquel-manganeso-cobalto (NMC) y litio-níquel-cobalto-aluminio (NCA). Las proyecciones de precios ubican al hidróxido de litio hacia 2025 en un 42% por encima del carbonato de litio grado técnico (98,5%) y un 20% debajo del carbonato de litio grado batería (99,5%)<sup>65</sup>. Este mercado está altamente concentrado en cinco firmas: Albemarle, SQM –estas dos son las que han logrado desarrollar procesos con menores costos de producción–, las chinas Tianqi y Ganfeng, y la estadounidense FMC.

En cuanto a la participación de los principales países exportadores de óxido e hidróxido de litio en 2010-2016, Estados Unidos mantuvo la primera posición hasta el 2015 (entre 35 y 38%) para darle lugar a China, a partir de 2016, como principal exportador (38%). Chile (17%), Rusia (12%) y Bélgica (9%) completan la lista (Gráfico 19). Durante el mismo período, el principal importador fue Japón, con un 24% en 2016, al igual que Corea, seguidos por India (8%), Bélgica (7%) y Estados Unidos (3%) (Gráfico 20).

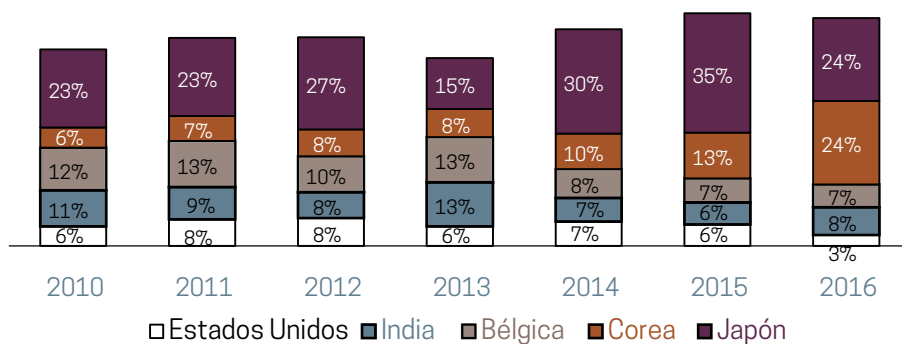
<sup>65</sup> El carbonato de litio de grado de batería se utiliza como uno de los componentes del cátodo de las baterías de ion-litio, mientras que el carbonato de litio de grado técnico es menos costoso y es apto para la fabricación principalmente de vidrios y cerámicos. En el caso de otros usos industriales puede utilizarse el concentrado de litio en mineral de espodumeno.

**Gráfico 20. Participación de los mayores países exportadores de óxido e hidróxido de litio (2010-2016)**



Fuente: Elaboración propia en base a COMTRADE.

**Gráfico 21. Participación de los mayores países importadores de óxido e hidróxido de litio (2010-2016)**



Fuente: Elaboración propia en base a COMTRADE.

La producción de grasas y lubricantes es, por su volumen, el tercer mercado más grande de usos del litio: según datos de 2015, representó el 11,3% del total mundial. El litio explica alrededor del 0,3% del costo final de estos productos. La demanda para la producción de grasas y lubricantes crecerá a un ritmo sostenido en los próximos años, según las estimaciones de Deutsche Bank, siendo el uso industrial la principal aplicación (Deutsche Bank, 2016).

En tanto, en 2015, el litio metálico representó el 3% del mercado global de litio. FMC y Ganfeng Lithium son algunos de los productores relevantes a escala global. El litio metálico se



produce por electrólisis, utilizando cloruro de litio de alta pureza (99,5%) y cloruro de potasio como insumos. El proceso es intensivo en energía (entre 35 y 40 kWh por kg de litio metálico), lo que la convierte en un insumo crítico para la viabilidad económica de los proyectos (Pavlovic, 2014). Este producto se utiliza principalmente en la química del ánodo de baterías primarias, en aleaciones para la industria aeroespacial y en la fabricación de compuestos orgánicos de litio (principalmente, butil-litio). Sin embargo, el mayor potencial del producto sería como insumo en la producción de baterías que se encuentran en etapa de desarrollo –en particular litio-azufre–, y que, en términos teóricos, presentan propiedades superiores a las tecnologías dominantes en el mercado actual. De acuerdo a las estimaciones de Pillot (2016), si el desarrollo resultara exitoso, la tecnología de cátodos litio-azufre estaría disponible para su comercialización cerca de 2024 (ver más sobre el desarrollo de estas baterías en la Sección 6).

Otros dos productos importantes vinculados a esta cadena son los isótopos 6 y 7 de litio, en especial por su alto valor unitario. El segundo se utiliza casi en su totalidad como aditivo refrigerante en reactores de fisión nuclear, con el fin de evitar la corrosión en los materiales estructurales (Corti, 2017). También se emplea en la producción de reactivos químicos en la ingeniería de energía nuclear y como insumo para la fabricación de membranas de intercambio iónico de grado nuclear utilizadas en las instalaciones de tratamiento de agua de refrigerante de reactores nucleares de agua a presión.

La producción mundial de litio 7 es de 1 tonelada por año. El precio del producto de grado nuclear es de USD 10.000/kg (Corti, 2017). El 40% de la producción es utilizado en reactores de agua en Estados Unidos. Sin embargo, este país no produce litio 7 desde 1963, en parte por los problemas ambientales y de salud originados por la utilización de mercurio para el proceso de enriquecimiento, el cual se evaporaba, derramaba o quedaba como residuo. Los únicos productores de litio 7 son Rusia y China –aunque este país, según informa, actualmente importa el producto desde Rusia. La fabricación de este producto en Rusia es un derivado del enriquecimiento de litio 6, utilizado en la producción de tritio para armas term nucleares. La principal empresa productora es la Novosibirsk Chemical Concentrates Plant –perteneciente al grupo TVEL Fuel Company–, que atiende el 80% de la demanda mundial.

Se espera que la demanda de litio 7 aumente velozmente con la producción de reactores de sal fundida (molten salt reactors) –reactores de cuarta generación, actualmente en fase de prototipo. A diferencia de los reactores a agua a presión, que emplean pequeñas cantidades de litio, este tipo de reactores requeriría grandes cantidades –aproximadamente, 1 tonelada por reactor– (Corti, 2017). Asimismo, el nivel de enriquecimiento de litio 7 es mucho

mayor (99,995%), lo que implica también precios superiores.

Los riesgos que implica para los Estados Unidos la concentración de la producción de litio 7 en unos pocos oferentes y los bajos stocks de este producto conservados en aquel país han llevado a que su Departamento de Energía encargue un estudio a la U.S. Government Accountability Office para proponer estrategias de abastecimiento frente al potencial crecimiento de la demanda para su uso en reactores de sal fundida. Entre las soluciones presentadas se encuentra la construcción de una planta piloto con capacidad de producción de unos 200 kg anuales, lo que demandaría aproximadamente cinco años, y una inversión de USD 10 mn. Por su parte, otra alternativa sería el reemplazo del litio 7 por hidróxido de potasio (KOH), requiriendo un proceso de investigación que, según se ha estimado, llevaría alrededor de 10 años (Corti, 2017).

En tanto, el litio 6 ha sido, hasta el momento, la principal fuente de tritio para armas termo-nucleares. Sin embargo, en el futuro se proyecta como insumo en la generación de energía mediante fusión nuclear. El principal proyecto en desarrollo es llevado adelante por el consorcio ITER<sup>66</sup>, que se propone construir en el sur de Francia un dispositivo de fusión magnética para demostrar la viabilidad de dicha tecnología como fuente de energía a gran escala y libre de carbono. Los combustibles fundamentales en la generación de energía por fusión son el deuterio y el tritio (125 kg al año de cada uno). Mientras que el primero es abundante en la naturaleza, el segundo es escaso y, por lo tanto, es generado artificialmente en reactores por el isótopo 6 de litio (Corti, 2017). Asimismo, uno de los objetivos de la operación de ITER es demostrar la viabilidad de producir tritio dentro del recipiente de vacío, puesto que se teme que el suministro mundial de tritio no sea suficiente para cubrir las necesidades de las futuras centrales eléctricas. Según se estima, cada reactor nuclear podría demandar entre 8 y 9 tn de litio 6 para producir 1.500 mW de potencia durante un año. El litio 6 tendría también una aplicación como detector de neutrones en satélites, lo que permitiría evitar la destrucción generada en dichos artefactos al atravesar una nube de esas partículas.

#### 4.1.2. Las baterías de ion-litio, tipos y usos

La batería de ion-litio es un tipo de batería recargable en la que los iones de litio se mueven desde el electrodo negativo al electrodo positivo durante la descarga y recorren el camino inverso al cargar. Como se grafica en el esquema de la Figura 3, una batería de ion-litio está compuesta por un ánodo, un cátodo, un electrolito, un separador y colectores de corriente.


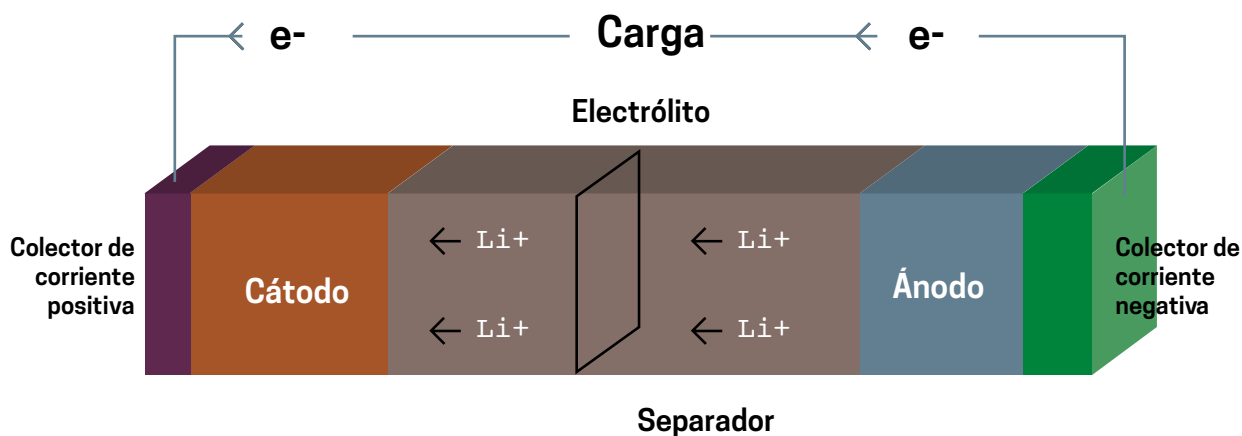
 <sup>66</sup> El proyecto ITER es un consorcio integrado por China, la Unión Europea, India, Japón, Corea del Sur, Rusia y los Estados Unidos. El proyecto tiene una duración prevista de 35 años. Más información, en <https://www.iter.org>. Sobre las dificultades que enfrenta el proyecto ITER y el proyecto alternativo desarrollado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT), ver <https://www.nature.com/articles/d41586-018-02966-3>.

Figura 3. Esquema de una batería de ion-litio



Fuente: elaboración propia.

Una celda electroquímica (o, más usualmente, un conjunto de ellas) es una batería eléctrica, acumulador eléctrico o pila. Las celdas electroquímicas convierten la energía eléctrica en energía química y viceversa. En las baterías ion-litio, cuando la celda se carga, los iones de litio fluyen desde el cátodo al ánodo donde se almacenan. Cuando la celda se descarga, los iones de litio se disocian del ánodo y se mueven al cátodo a través del electrolito y los electrones son transportados por el circuito externo para realizar su trabajo. El ánodo es el electrodo negativo, y como los electrones salen de la batería a través del ánodo, debe estar compuesto de un material con una alta conductividad electrónica y una gran capacidad de ciclado (típicamente se utiliza grafito). El cátodo es el electrodo positivo y debe ser capaz de aceptar y liberar iones de litio y electrones. Los cátodos generalmente están hechos de un óxido metálico de litio que puede oxidarse cuando se remueve el litio.

Las baterías de ion-litio proporcionan fuentes de energía livianas y de alta densidad para una variedad de usos. Existen diferentes clasificaciones sobre los usos de las baterías de litio. Tomando la propuesta por Pillot (2017), podemos identificar los cinco grupos que se detallan en el Cuadro 6.


**Cuadro 6. Clasificación de usos de baterías y ejemplos**

Movilidad		HEV (vehículos eléctricos híbridos), P-HEV (vehículos eléctricos híbridos enchufables), EV (vehículos eléctricos), bicicletas eléctricas
Industrial	Móvil	Auto-elevadores, otros
	Estacionario	Telecomunicaciones, UPS (fuentes de energía para interrupciones), sistemas de almacenamiento de energía, equipamiento médico, iluminación de emergencia, seguridad, señalización ferroviaria, encendido de generadores diesel, tablero de control y distribución.
Herramientas Eléctricas		Agujereadoras, taladros, destornilladores, herramientas de jardinería.
Portátiles		Dispositivos eléctricos de consumo, celulares, PC portátiles, tablets, cámaras, recopilación de datos, terminales portátiles
SLI		Baterías para luz, arranque y encendido (SLI) para automóviles, camiones, motos, botes, etc.
Médicos		Sillas de ruedas, carros médicos, dispositivos (herramientas quirúrgicas, instrumentos portátiles, rayos-X, ultrasonido, grandes concentradores de oxígeno)

Fuente: elaboración propia en base a Pillot (2017).

Hay una serie de criterios que son de gran importancia para el funcionamiento de la batería y, por lo tanto, para la selección de los mejores materiales y diseños del cátodo, del ánodo y del electrolito: voltaje de la celda, energía específica (Wh/kg de cátodo), densidad de potencia (W/kg de cátodo), máxima temperatura segura de funcionamiento, número posible de ciclos de carga/descarga, efecto de memoria, seguridad, vida útil y costo. Los materiales catódicos más utilizados en baterías recargables de ion-litio son<sup>67</sup>:

- **Óxido de cobalto de litio** (abreviación LCO; fórmula química  $\text{LiCoO}_2$ ). Este fue el material de cátodo utilizado en la primera batería recargable de ion-litio que se produjo industrialmente en 1991, y sigue siendo el material de cátodo más usado en baterías para dispositivos electrónicos de consumo. La energía específica es bastante alta: el productor canadiense de materiales catódicos Targray establece un rango de 110-190 Wh (la celda Panasonic CGR18650E, muy utilizada en la industria, llega a 203 Wh/kg), pero su seguridad puede ser baja ante sobrecalentamiento o sobrecarga. Sobre esto se han reportado varios incidentes de incendio o explosión, lo cual hace cuestionar su utilización en autos eléctricos. Por su parte, el uso de cobalto puede generar impactos ambientales negativos si la batería no se recicla de forma adecuada. Adicionalmente, el cobalto es un metal costoso. Es probable que la utilización de este tipo de baterías se reduzca progresivamente frente al avance de tecnologías con las que compite como la de litio-ferrofosfato (LFP) y la de litio, níquel, manganeso y óxido de cobalto (NMC). Las baterías que utilizan tecnología LCO son empleadas en


 <sup>67</sup> La revisión de materiales catódicos incluida debajo está basada en Chagnes y Swiatowska (2015), salvo cuando se indique lo contrario.

gran medida en dispositivos electrónicos como smartphones y tablets. A pesar de la pérdida de terreno frente a otras tecnologías, según Sanders (2017), la de LCO va a incrementar su participación en el uso para computadoras portátiles debido a sus diseños más delgados. Los fabricantes de estos tipos de productos, como Samsung y Apple, han confirmado que LCO será la primera elección a futuro.

**- Litio-Ferrofosfato** (abreviación LFP; fórmula química  $\text{LiFePO}_4$ ). Este material de cátodo es utilizado principalmente en baterías para vehículos eléctricos, en particular automóviles. Su energía específica (108 Wh/kg o 95-140 Wh/kg) es menor que la de las baterías LCO convencionales; no obstante, ofrece el nivel de seguridad más alto entre las químicas de cátodos de litio que aquí se mencionan. Asimismo, tiene menores costos de producción debido a que no utiliza cobalto y el impacto ambiental es limitado. Siguiendo a Sanders (2017), la demanda de LFP está impulsada por su utilización en vehículos eléctricos (incluyendo autobuses y bicicletas) y aplicaciones industriales estacionarias. Según el mismo informe, los industriales chinos han consensuado que la tecnología LFP será dominante al menos por los siguientes diez años en estos usos. Los principales determinantes son la vida útil y el bajo costo, siendo su relativamente baja densidad de energía un obstáculo no determinante.

**- Litio, níquel, manganeso, óxido de cobalto** (abreviación NMC; fórmula química  $\text{Li}(\text{Ni}_{0,33}\text{Mn}_{0,33}\text{Co}_{0,33})\text{O}_2$ ). Es una de las variantes de cátodo utilizadas para fabricar baterías para vehículos de propulsión eléctrica, esencialmente vehículos eléctricos (EV por sus siglas en inglés), scooters y bicicletas eléctricas. Su energía específica (95-130 Wh/kg) es menor que la de las baterías LCO. Al igual que en estas últimas, aquí la seguridad también puede ser motivo de preocupación. A pesar de sus desventajas, esta tecnología es utilizada en combinación con LMO (ver a continuación), siendo la parte NMC de las baterías la que proporciona mayor autonomía a los automóviles<sup>68</sup>. Mientras que la tecnología LFP es la dominante en China, LG, Panasonic y Samsung han coincidido en que la variante NMC será la primera opción para EV en Japón, Estados Unidos y Europa.

**- Litio, manganeso, espinela** (abreviación LMO; fórmula química  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ). Su energía específica (110-120 Wh/kg) es menor que la de las baterías LCO, pero su seguridad es mucho mayor y su costo de producción es menor dado que no utiliza cobalto, lo cual también reduce el impacto ambiental (similar a lo observado para LFP). Según Sanders (2017), a pesar de su bajo costo y de su estabilidad, al presente la tecnología LMO casi nunca es la primera opción para fabricar cátodos de ion-litio. Su uso

  
<sup>68</sup> Ver [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)

al momento se concentra en herramientas eléctricas; a futuro su demanda estará impulsada por su utilización (combinada con NMC) en vehículos eléctricos, primero en Japón, Estados Unidos y Europa, y luego (del 2025 en adelante) en China.

- **Litio, níquel, cobalto, aluminio** (abreviación NCA; fórmula química  $\text{LiNiCoAlO}_2$ ). Aunque posee una alta energía específica (200-260Wh/kg)<sup>69</sup>, una potencia razonablemente buena y una larga vida útil, las variables de seguridad y costo de las baterías que usan NCA no son muy favorables. No obstante, debido a la mayor densidad de energía y potencia, ha sido la tecnología elegida por Tesla para sus automóviles y no se espera que modifique esta decisión en los próximos años. La tecnología NCA también se usa en dispositivos eléctricos en celdas con formatos cilíndricos y prismáticos. Los principales productores que utilizan NCA en dispositivos eléctricos son Panasonic, Sony y Samsung (aunque su primera opción para estos dispositivos seguirá siendo LCO, como se mencionó previamente).

Existen dos tecnologías de baterías en desarrollo que utilizan litio entre sus componentes y, en términos teóricos, presentan condiciones más promisorias que las tecnologías en uso. En primer lugar, se encuentran las baterías litio-azufre<sup>70</sup>. Estas contienen cátodos de azufre de alta capacidad y ánodos de litio que permitirían una producción de bajo costo ofreciendo, al mismo tiempo, una alta densidad de energía. Su desarrollo presenta distintos desafíos, entre los que se encuentran la aislación de las propiedades de azufre y los sulfuros de litio, la disolución de polisulfuros de litio en el electrolito, el cambio de volumen en el cátodo durante el ciclo y la necesidad de pasivar las membranas en el ánodo para inhibir la formación de dendritas.

En segundo lugar, se encuentran las baterías de litio-aire<sup>71</sup>. Este tipo de batería, que utiliza oxígeno del aire, es la que tiene la mayor densidad energética en términos teóricos: 3.500 Wh/kg. Las estimaciones de acumulación real indicarían un valor de entre 500 y 1.000 Wh/kg, lo que permitiría que un vehículo eléctrico recorra una distancia de unos 500 km sin necesidad de recarga. Queda mucho por recorrer en el proceso de desarrollo de estas baterías, puesto que aún se deben conocer mejor los procesos electroquímicos que rigen su funcionamiento. Por una parte, se utilizan electrodos de litio metálico que todavía no ofrecen una ratio de capacidad del ciclo carga/descarga que sea eficiente. Asimismo, la solución de electrolitos y del cátodo es inestable, mientras que el manejo y filtrado del aire requieren soluciones ingenieriles novedosas.



<sup>69</sup> Ver [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)

<sup>70</sup> Basado en Pang et al. (2016).

<sup>71</sup> Basado en Aurbach et al. (2016)


### 4.1.3. La cadena de valor de las baterías de ion-litio

La cadena de valor en la fabricación de baterías de ion-litio puede dividirse en 6 grandes eslabones (Figura 4): i) materias primas; ii) fabricación de los componentes de las celdas (es decir, el ánodo, el cátodo, el electrolito y los separadores); iii) fabricación de celdas; iv) producción de baterías; v) usos de las baterías; y vi) reciclado de las baterías.

Aquí se desarrollarán, principalmente, los primeros 4 grandes eslabones, es decir que no profundizará sobre los usos de baterías, así como tampoco sobre la etapa de reciclado. La cadena de valor de las baterías de ion-litio se caracteriza por un alto nivel de especialización, una creciente concentración de mercado al interior de cada eslabón –resultado de una ola de fusiones y adquisiciones–, y por bajos niveles de integración vertical (Deutsche Bank, 2016). En efecto, como puede verse en el Cuadro 4, que muestra a las empresas más grandes de cada etapa (incluyendo las del eslabón de usos de baterías como producto final), solo LG Chem opera a lo largo de cuatro eslabones de la cadena, desde la fabricación de componentes a la de baterías. Por su parte, los fabricantes de vehículos Tesla (automóviles) y BYD (buses) y la empresa de electrónica Panasonic se ubican en tres eslabones, produciendo las celdas que luego utilizan para la elaboración de sus baterías. En cuanto al resto de las firmas identificadas, apenas algunas participan de dos eslabones de la cadena, mientras que la mayoría solo opera en uno<sup>72</sup>.

Mientras que en los eslabones relacionados con la actividad extractiva prevalecen las empresas originarias de Australia, Estados Unidos y Canadá, a medida que se avanza en la cadena de valor asumen una posición dominante los países asiáticos, en particular China, Corea del Sur y Japón. Las proyecciones indican que estos países, en particular el primero de ellos, continuarían aumentando su participación de mercado en estos eslabones finales (Deutsche Bank, 2016).

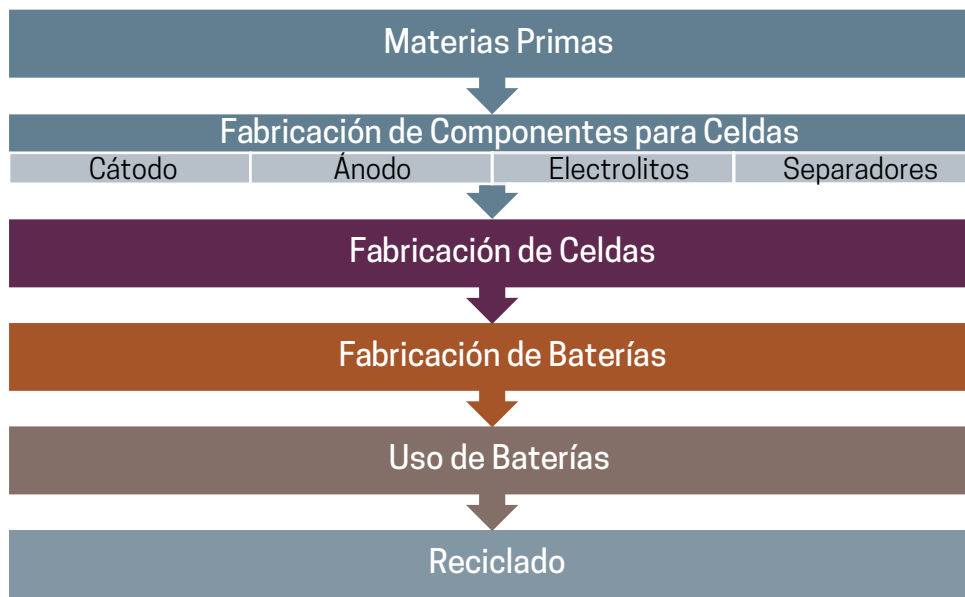
En verdad, el caso de China merece una mención particular porque ha ido ganando presencia a lo largo de toda la cadena. Como se ha señalado, este país es el principal importador de carbonato de litio –fundamentalmente desde Chile y la Argentina– y el mayor refinador de mineral de espodumeno, importado desde Australia, en gran parte a partir de las actividades de Tianqi Lithium en aquel país. Asimismo, China tiene una gran capacidad de producción de compuestos de litio elaborados en base a estos dos insumos, incluyendo en particular el hidróxido de litio –con una proyección de crecimiento elevada por su uso en baterías que incluyen níquel– y el litio metálico. Asimismo, las firmas chinas que operan aguas abajo en la cadena buscan asegurarse el acceso al litio. Ganfeng Lithium, por ejemplo, tiene una participación en la explotación de mineral de espodumeno en Mount Marion, Australia, y en los

  
<sup>72</sup> No se registran en el cuadro las participaciones accionarias minoritarias que puedan tener empresas que operan aguas abajo en algunas firmas productoras de materias primas. Tal es el caso, por ejemplo, de la subsidiaria Toyota Tsusho, que tiene una

proyectos de los salares de Mariana y de Cauchari-Olaroz, en la Argentina. Aún más abajo en la cadena, BYD creó en marzo de 2017 un joint venture con Qinghai Salt Lake Industry Co. y con Shenzhen Zhuocheng Investment para actividades de exploración, procesamiento y venta de litio en salares de China<sup>73</sup>.

<sup>73</sup> Ver <http://lithium.today/lithium-supply-china/>.

**Figura 4. Cadena de valor simplificada en la fabricación de baterías**






Fuente: Elaboración propia.



**Cuadro 7. Principales empresas en la cadena de valor de baterías (2015)**

MATERIAS PRIMAS	COMPONENTES DE LA BATERÍA	CELIDAS	BATERÍA	PRODUCTO FINAL
LITIO (Li2O, LiOH, Li2O3)	ANODO	CONSTRUCCIÓN DE CELIDAS		EVs/PHEVs/HEVs
SQM	Altair			Aston Martin
FMC Corp	Nanotechnologies			Audi
Orocobre	ConocoPhillips			BAIC Motor Corp
Albemarle	Hitachi			BYD
Bacanora Minerals	Kureha			Chongqing Changan Auto
Pure Energy	Nippon Carbon			Daimler
Jiangxi Ganfeng	Minerals Pyrotek			Ford
Tianqi Group	Superior Graphite			Foxconn GM
Galaxy	LG Chem			Geely Automobile
Neometals	CÁTODO		A123	GM
Pilbara Minerals	3M		AC Propulsion	Honda
	Bamo-Tech		All Cell Technologies	Mercedes Benz
GRAFITO/GRAFIT O SINTÉTICO	Easpring		Boston Power	Nissan
Syrah Resources	King-ray	Boston Power	BYD	SAIC Motor Corp
China (varios)	L&F	BYD	CATL	Volkswagen
Brasil	Nippon Denko	Chemical	China Aviation	Zoyte Auto
Triton Minerals	Sumitomo	Continental	Coda	Chevrolet
Mason Graphite	Toda Kogyo	GM	Continental	Tesla
Graphite One	Umicore	Johnson Controls	Electrovaya	Toyota
Energiser/Malagasy	BASF	LG Chem	EnerDel	
Talga Resources	Formosa	LithChem	GM	ALMACENAMIENTO ESTACIONARIO
	Nichia Chemical	NEC	GSYuasa	AES
COMPUESTOS DE COBALTO	Shanshan	Panasonic	Guoxuan	BYD
Tanaka Corporation	SEPARADORES	Sanyo	Hitachi	Coda Energy
Kansai Catalyzt	Applied Materials	Tesla	Johnson	Duke Energy
Santoku	Entek	Lishen	Controls-saft	EDF Energy
Glencore	Toray Tonen	Maxwell	LG Chem	Enel
	Asahi Kasei	Sansumg SDI	Lishen	First Solar
COMPUESTOS DE NIQUEL	Cangzhou Mingzhu	Toshiba	NEC	GE
Tanaka Corporation	Celgard		OptimumNano	
Kansai Catalyzt	DuPont		Panasonic	Green Charge Networks
Sumitomo	Evonik Industries		Samsung SDI	LG Chem
WSA	SK Energy		Sanyo	National Grid
COMPUESTOS DE MANGANESO	ELECTROLITOS		Sinopoly	Saft Groupe
Mitsui	Cheil Industries		Tesla	Samsung
Sumitomo	LithChem		XALT energy	Siemens
S32	Mitsui Chemical			Sonnen-Batterie
	Novolyte			Stem
ALUMINIO	Technologies			Vestas
Alcoa	Do-Fluoride			Tesla
	Chemicals			ELECTRÓNICA/PRODUCTOS DE CONSUMO
	Mitsubishi Chemical			Apple
	Panex			Google
	Shanshan			Sony
	Shenzhen Capchem			Xiaomi
	Shinestar			Huawei
	Tianci Materials			Panasonic
	Tomiyama Yakuhin			Samsung SDI

-  Participación en dos eslabones de la cadena
-  Participación en tres eslabones de la cadena
-  Participación en cuatro eslabones de la cadena

## Materias primas

Existen distintos elementos que se utilizan para fabricar los diferentes componentes utilizados en las celdas de baterías de ion-litio, incluyendo: litio (Li), níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn), aluminio (Al), cobre (Cu), silicio (Si), estaño (Sn), titanio (Ti) y carbono (C) en una variedad de formas (por ejemplo, grafito natural o sintético). Estos elementos se obtienen a partir de materias primas extraídas de la corteza terrestre o recuperadas del agua. Algunos de estos materiales tienen una gran importancia económica a la vez que existe un alto riesgo en su abastecimiento, y como tales se denominan “materias primas críticas”. Entre los materiales utilizados en las celdas de ion-litio hay tres que los Estados Unidos han incluido en esta categoría: cobalto, grafito natural y silicio (metal). A continuación, se resume información sobre recursos, reservas y sustituibilidad de estos tres materiales.

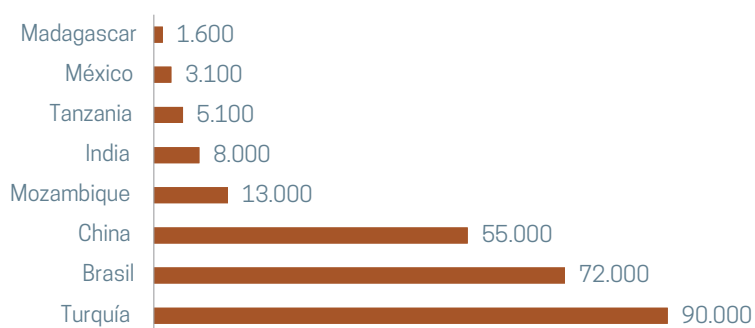
El cobalto se utiliza para una serie de aplicaciones industriales, como baterías, superaleaciones, materiales duros, carburos, herramientas de diamante, pigmentos, catalizadores, imanes, etc. El uso en baterías tiene la mayor participación entre estas aplicaciones, equivalente a alrededor del 37% del total del mercado (Lebedeva et al., 2016). En baterías de ion-litio, el cobalto es un componente en varios materiales activos de cátodo ampliamente utilizados. Los recursos terrestres de cobalto identificados son de aproximadamente 25 mn de toneladas métricas. También se han identificado más de 120 mn de toneladas métricas de recursos de cobalto en nódulos y costras de manganeso en el suelo de los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. A comienzos de 2016 las reservas mundiales se estimaron en 7,1 mn de toneladas métricas y la producción total en 2015 ascendió a 0,124 mn de toneladas métricas (Lebedeva et al., 2016). La República Democrática del Congo es la principal fuente de cobalto, suministrando el 51% del volumen del mercado; los siguientes productores –China, Rusia, Canadá y Australia– tienen cada uno una participación mucho menor.

Según Lebedeva et al. (2016), el balance de mercado pronosticado en 2016 para el cobalto refleja que la oferta superará levemente a la demanda hasta el año 2020, momento en el que tenderá a equilibrarse. Las proyecciones a más largo plazo, que incluyen supuestos sobre penetración de vehículos eléctricos hasta el 2050, muestran que la demanda acumulada de cobalto requeriría de todos los recursos conocidos hoy en día, incluso considerando su relativamente alta tasa de reciclaje en baterías. Sin embargo, esta estimación se basa en el supuesto de que la tecnología NMC seguirá siendo ampliamente utilizada hasta 2050, lo cual no es seguro debido a que se espera que se introduzcan nuevas tecnologías que empleen otros materiales. Finalmente, la tasa de sustitución del cobalto es baja (el índice de sustituibilidad<sup>74</sup> para todas las aplicaciones es de 0,71 y para las baterías es de 0,8).

<sup>74</sup> El índice de sustituibilidad mide la dificultad para sustituir el material, calculada y ponderada para todas las aplicaciones. Los valores se sitúan entre 0 y 1, donde 1 indica la menor sustituibilidad.

El grafito natural se utiliza en una serie de aplicaciones industriales: electrodos, refractarios, lubricantes, fundiciones y en baterías como material activo anódico. La aplicación en baterías tiene una proporción relativamente baja, cercana al 4%. La producción mundial en 2015 ascendió a 1.200 tn (Lebedeva et al., 2016). El 88% de las reservas se concentra en tres países: Turquía (36%), Brasil (29%) y China (22%) –U.S. Geological Service (2017) –ver Gráfico 11.

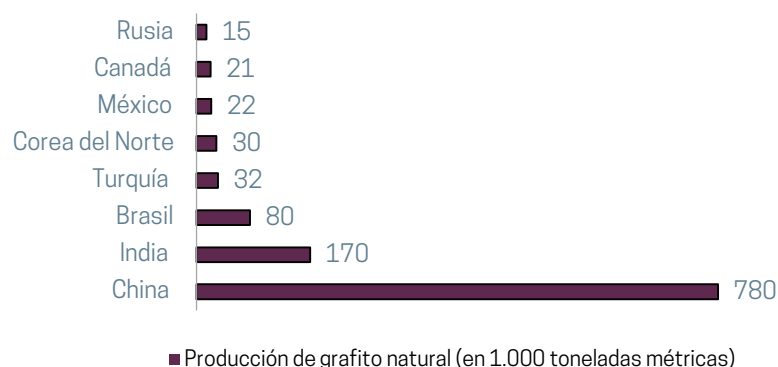
**Gráfico 22. Reservas mundiales de grafito natural en 2016, por país (en 1.000 tn)**



Fuente: U.S. Geological Service.

La producción de grafito natural está altamente concentrada: China produce aproximadamente el 67%, seguida por India (14%) y Brasil (7%) –Gráfico 23. Cabe destacar que hay limitaciones de datos para el caso de Corea del Norte, país para el cual se puede estimar su producción pero no sus reservas.

**Gráfico 23. Principales países productores de grafito natural en 2016 (en 1.000 tn)**

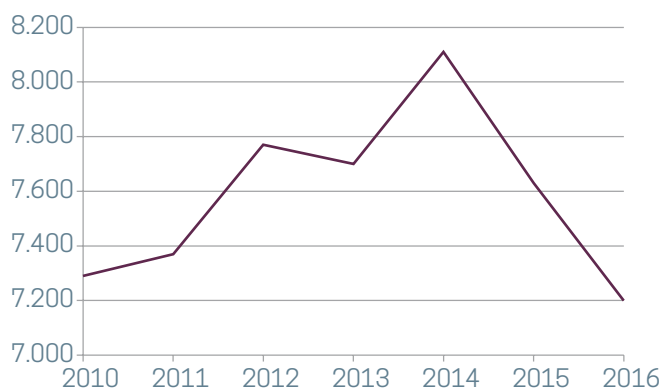


Fuente: U.S. Geological Service.

En cuanto a la sustituibilidad del grafito natural, el índice para todas las aplicaciones es de 0,72, mientras que para las baterías es menor (0,3) –esto es, resulta más fácil de reemplazar. Por su parte, la tasa de entrada de reciclado del grafito natural al final de su vida útil es nula. Sin embargo, por el momento no se prevé un déficit en la demanda de este material. Se estima que el mercado de grafito natural experimentará un excedente de producción hacia 2020 (es decir, la oferta excederá la demanda en más del 10%) (Lebedeva et al., 2016).

El silicio metálico es ampliamente utilizado en las industrias química, de pigmentos, metalurgia y electrónica. El silicio y las aleaciones de silicio también están emergiendo como materiales activos de ánodo para las baterías de ion-litio, pero en la actualidad su participación es insignificante en comparación con otras aplicaciones. Los recursos mundiales para fabricar aleaciones y metales de silicio son abundantes y adecuados para satisfacer los requisitos del mercado durante las próximas décadas. La fuente de silicio es la sílice en diversas formas naturales, como la cuarcita. Las reservas en la mayoría de los principales países productores también son amplias en relación con la demanda, pero según Lebedeva et al. (2016) no hay estimaciones cuantitativas disponibles. La producción mundial de silicio metal en 2015 ascendió a 8.100 tn y estaba altamente concentrada, con China aportando el 68%, Rusia el 8%, Estados Unidos el 5% y Noruega el 4%. En el Gráfico 24 se puede observar cómo ha evolucionado la producción mundial de silicio desde 2010 hasta 2016, teniendo un pico en el 2014 de 8.110 tn y volviendo en 2016 (7.200) a los valores de 2010 (7.290). El silicio metálico tiene una muy baja sustituibilidad, con un índice de 0,81, para todas las aplicaciones. Al igual que el grafito, la tasa de entrada de reciclado al final de vida útil del metal de silicio es nula.

**Gráfico 24. Producción mundial de silicio 2010-2016 (en 1.000 tn)**



### **Producción de componentes para las celdas**

Podemos agrupar los componentes de celdas para baterías en 4 grupos: el cátodo, el ánodo, los electrolitos y los separadores. A continuación, se presenta un resumen sobre estos conjuntos de materiales, sus mercados y los actores principales.

La lámina de cobre se utiliza como colector de corriente para ánodos en celdas de ion-litio. Los líderes del mercado en la producción de láminas de cobre para aplicaciones de baterías son las japonesas Furukawa Electric, Nippon Foil Mfg. y Nippon Denkai. En tanto, diversos materiales carbonosos tales como grafito natural y artificial, carbón amorfo y mezclas de carbón amorfo y cristalino y, más recientemente, óxidos y aleaciones de estaño y silicio, así como de litio-titanato (LTO), se utilizan como materiales activos anódicos. Históricamente, la producción de materiales activos anódicos ha estado dominada por Japón y China. En 2011, tres productores tuvieron una participación de mercado del 65%: las japonesas Hitachi Chemicals (34%) y Nippon Carbon (19%), y la china BTR Energy (12%). En 2015, estas 3 compañías seguían siendo líderes en el mercado de materiales activos de ánodo, dominando el 61% del mercado. Otros productores de materiales activos de ánodo incluyen a las japonesas Mitsubishi Chemical y Tokai Carbon, la coreana LS Mtron Carbonics, y la china ShanshanTech. Se espera que el mercado de materiales activos anódicos crezca de 76.000 a más de 250.000 tn entre 2015 y 2025 (Lebedeva et al., 2016).

En lo que se refiere a la fabricación material activo de cátodo, que es el componente más sensible de la batería, en 2016 se produjeron aproximadamente 211.000 tn. Como se observa en el Cuadro 8, cada tipo de cátodo está liderado por distintas empresas, con unas pocas, como Umicore, Pulead y ShanShan, que operan en más de un mercado. Esto indica que la especialización antes mencionada no solo se da al interior de los eslabones, sino dentro de cada uno de ellos. Los niveles de concentración de mercado en el segmento de material activo de cátodo son también muy elevados. Las diez firmas más grandes controlan más del 80% del mercado y, en los casos de las tecnologías LCO y NCA, casi la totalidad del mismo. Asimismo, también en este rubro la participación de China como plataforma de producción es notable, ubicándose en torno al 60% en los casos de las tecnologías LCO, NMC y LMO y alcanzando un pico de 92% en LFP –que, como se verá más adelante, es la que se fabricaría en la provincia de Jujuy. La única excepción corresponde al material activo de cátodos NCA, el menos relevante en términos de participación en la oferta total, donde China tiene solo un 7% y el dominio está en manos de las firmas japonesas y coreanas.

**Cuadro 8. Participación de las empresas líderes en la oferta mundial de material activo de cátodo (2016)**

LCO (21%)		NMC (26%)		NCA (9%)		LFP (36%)		LMO (8%)	
Empresa	%	Empresa	%	Empresa	%	Empresa	%	Empresa	%
L&F	16	Internal	14	Sumitomo	73	Pulead	13	Qyanyun	14
Umicore	15	Umicore	12	Toda Kogyo	10	BYD	8	Posco	12
B&M	12	ShanShan	12	Ecopro	5	Zhuoneng	6	JGC	12
Pulead	12	Xiamen Tungsten	10	Nihon Kagaku Sangyo	5	STL	5	Mitsui	
	10	Nichia	9	Kelong	5	BTR Energy	3	ShanShan	9
<b>Top 5</b>	<b>65</b>		<b>57</b>		<b>98</b>		<b>35</b>		<b>59</b>
<b>Top 10</b>	<b>&gt;98</b>		<b>89</b>		<b>&gt;99</b>		<b>n.d.</b>		<b>82</b>
<b>% de China</b>	<b>61</b>		<b>59</b>		<b>7</b>		<b>92</b>		<b>60</b>

Fuente: elaboración propia en base a Sanders (2017).

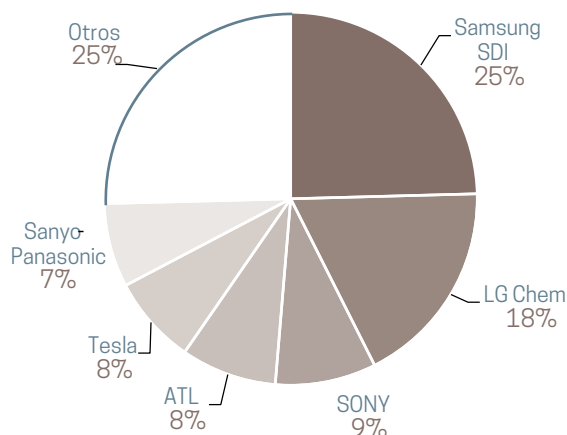
Según Lebedeva et al. (2016), el mercado mundial de electrolitos para todas las aplicaciones de baterías de ion-litio fue ligeramente superior a las 62.000 tn en 2015. De forma similar a los materiales activos de ánodo y cátodo, la producción de electrolitos para baterías de ion-litio está dominada por los proveedores asiáticos, con China actualmente produciendo cerca del 60% (en peso) del mercado total, seguida por Japón (18%) y Corea (14%). Los nuevos participantes en el mercado mundial de electrolitos para baterías de ion-litio son compañías como la coreana LG Chem, la estadounidense DuPont y la japonesa Daikin. Se espera que el mercado de electrolitos crezca de las 62.000 tn de 2015 a más de 235.000 tn en 2025, con un aumento de la participación del segmento automotriz del actual aproximado de 33% a alrededor de un 50% del mercado.

El mercado total de separadores para todas las aplicaciones de baterías de ion-litio fue de aproximadamente 900 mn de m<sup>2</sup> en 2015. Cerca del 30% de esta oferta abastece a la producción de celdas de baterías de ion-litio para su aplicación en la industria automotriz. De la misma forma que en los casos anteriores, el mercado de separadores para baterías de ion-litio está dominado por Asia, con una cuota de mercado para Japón del 48% (por área de superficie del producto), seguido por China (17%) y Corea (10%) –datos a 2015. Los líderes del mercado son las japonesas Asahi Kasei y Toray Tonen, y la coreana SK Energy. Se espera que el mercado de separadores de baterías de ion-litio continúe creciendo, alcanzando aproximadamente 2.700 mn de m<sup>2</sup> en 2025, impulsado en gran medida por las necesidades de los vehículos y autobuses eléctricos.

### Producción de celdas

En 2016 se vendieron alrededor de 6.400 mn de celdas de baterías de ion-litio; el valor aproximado de dicho mercado fue de USD 22,5 miles de mn (Pillot, 2017). Las compañías asiáticas dominan el mercado, con destaque para las coreanas Samsung SDI y LG Chem, las japonesas Sanyo-Panasonic y Sony, y la china ATL, a las que se suman la estadounidense Tesla (Gráfico 25).

**Gráfico 25. Participación de las principales empresas fabricantes de celdas para baterías de ion-litio en 2015**



Fuente: Lebedeva et al. (2016) en base a datos de Pillot (2016).

Según Pillot (2016), en 2015 la capacidad de producción global de celdas para baterías de ion-litio para todas las aplicaciones fue de aproximadamente 100 GWh (concentrándose en Japón, China y Corea del Sur cerca del 90% del total de dicha capacidad), de los cuales 40 GWh fueron para celdas de ion-litio utilizadas en baterías portátiles (ver arriba el Cuadro 7) y 60 GWh para todas las demás aplicaciones, incluida la automotriz, para la cual cerca del 80% de la capacidad de producción se ubicó en Asia. En 2015 alrededor del 30% de las ventas totales de celdas de baterías de ion-litio tuvo como principal destino el sector automotriz (Lebedeva et al., 2016, en base a datos de Pillot, 2016).

Entre 2014 y 2016 la capacidad de fabricación de celdas de ion-litio para uso automotriz ha aumentado significativamente –en el caso de Corea creció aproximadamente 1,5 veces, en Japón 2,4 veces y en China 2,7 veces– (Lebedeva et al. 2016). A partir de 2017 se observa un crecimiento importante de la capacidad en Estados Unidos como resultado de la entrada en producción de celdas de la Tesla Gigafactory (previamente fabricaba baterías utilizando celdas producidas por otras firmas)<sup>75</sup>. Los fabricantes de celdas para aplicaciones auto-

<sup>75</sup> Desde enero de ese año Tesla comenzó a producir con Panasonic celdas para baterías de productos de acumulación de energía y para el modelo 3 de Tesla.

motrices, además de Tesla, incluyen a las japonesas Panasonic, GS Yuasa, AESC, Li Energy Japón, y Toshiba, las coreanas Samsung SDI y LG Chem, y las chinas BYD, Wanxiang y Lishen Tianjin.

### **Producción de baterías**

En lo que se refiere a la fabricación de battery packs y baterías, los principales productores son, por lo general, empresas de electrónica y vehículos. También aquí los países asiáticos son los líderes, aunque en este caso encabezados por Japón, que, en 2015, explicó el 58% del mercado de baterías. China, sin embargo, ha aumentado rápidamente su participación en este segmento, pasando del 10% en 2014 al 22% en 2015. Este crecimiento ha sido impulsado, fundamentalmente, por la demanda explosiva de vehículos eléctricos en el país –ver Deutsche Bank (2016).

El mercado de baterías de ion-litio para todas las aplicaciones fue de más de USD 22.000 mn en 2015; la cuota del sector automotriz fue ligeramente inferior a los USD 8.000 mn en dicho año, y se espera que siga aumentando en el futuro con el creciente uso de los vehículos eléctricos (Lebedeva et al., 2016). Se espera que para 2025 la participación del sector automotriz en el mercado mundial de baterías se eleve al 64% –solo China explicaría el 43% del total de mercado.

Los fabricantes de EV tienen diferentes estrategias respecto de las baterías, ya que, mientras algunos las diseñan y producen internamente, otros las adquieren de proveedores especializados. Sin embargo, la mayoría de ellos mantiene una competencia tecnológica básica en torno al diseño del battery pack –aun cuando subcontraten su fabricación– y respecto del sistema de administración de las mismas para mantener algunos márgenes de control del proceso productivo y cierto nivel de ganancias. La consideración de las circunstancias específicas de la cadena de valor de la fabricación de celdas de ion-litio en diferentes regiones (Estados Unidos, Unión Europea, China, Japón) puede ayudar a explicar las distintas estrategias de fabricación adoptadas por los productores ubicados en cada una de ellas (Lebedeva et al. 2016). Por ejemplo, mientras que la empresa estadounidense General Motors contrata la fabricación completa de las celdas y de las baterías, las europeas BMW, Renault y Daimler mantienen el diseño y la fabricación del battery pack in-house, las japonesas Nissan y Mitsubishi además producen las celdas mediante subsidiarias controladas, y la china BYD mantiene el control completo sobre la producción de las celdas, y sobre el diseño y la fabricación de los battery packs.

Se puede observar, entonces, que las empresas japonesas y chinas normalmente preservan un mayor control en todas las etapas hasta el segmento de fabricación de baterías y



celdas. Por su parte las empresas europeas no cuentan con capacidad de producción dentro de sus países, aunque, intentan mantener el diseño y ensamblaje de las baterías in-house. En Estados Unidos, en tanto, los dos actores principales en el negocio de EV, Tesla y General Motors, están adoptando estrategias opuestas. Tesla, en lugar de depender de la cadena de suministro, opta por producir la mayoría de sus componentes clave. General Motors, por otro lado, opta por externalizar toda su fabricación de celdas y baterías, incluido el sistema de gestión de estas últimas (Lebedeva et al. 2016).

Una aplicación promisorio e incipiente para las baterías de ion-litio es en el almacenamiento de energía. En 2015, el 94% de la capacidad global total de las instalaciones de almacenamiento de energía correspondía a plantas hidráulicas de bombeo (Hocking et al., 2016). Como la demanda de energía varía constantemente, cuando la misma es baja las centrales hidroeléctricas bombean el agua al embalse superior, y cuando la demanda de energía aumenta, estas bombas se apagan para incrementar la generación de energía hidroeléctrica. De esta manera el almacenamiento se materializa en reservas del potencial gravitacional de energía del agua en horas de baja demanda para ser luego utilizado en horas pico. Debido a la pérdida de energía en el proceso de bombeo, la eficiencia total de la energía almacenada por este método es del 70-80%.

Una alternativa a este proceso sería usar baterías de ion-litio. En 2015, la capacidad instalada de almacenamiento de energía mediante baterías de acumulación fue de 1,1 GWh, de los cuales cerca del 30% se encontraba en Estados Unidos (350 mWh)<sup>76</sup>. Según Hocking et al. (2016), para 2025 la utilización de baterías para almacenamiento de energía crecerá hasta 50 GWh anuales. Esta estimación se basa en las expectativas sobre el auge de las baterías de ion-litio, las mejoras en su desempeño y la reducción de su costo.

Aunque entre los tipos de baterías que se utilizan para almacenamiento se encuentran las de plomo-ácido, sodio-azufre, haluro metálico sódico y baterías de flujo, las de ion-litio serían aquellas en las que se espera una mayor reducción de costos. El informe del Deutsche Bank (2016) observa que los niveles de integración vertical en este tipo de baterías son muy bajos. Sus productores adquieren en el mercado buena parte de los componentes vinculados a carcasas y electrónica. Su precio, en tanto, es mucho más elevado que el de las baterías para automóviles: mientras que, en 2016, el costo de un battery pack de ion-litio para automóviles eléctricos rondaba los USD 410/kWh, el costo de los productos de almacenamiento de energía basados en baterías de ion-litio rondaba los USD 1.000/kWh. Existen otras consideraciones que han limitado la penetración de las baterías de ion-litio, incluyendo problemas asociados a la gestión de la temperatura, la profundidad de descarga<sup>77</sup> y su vida

  
<sup>76</sup> 1.000 Megawatts hora (mWh) equivalen a 1 Gigawatt hora (GWh)

<sup>77</sup> La profundidad de descarga se refiere al porcentaje de la capacidad de carga completa que se puede usar de manera segura, la cual se correlaciona negativamente con la vida útil.

útil<sup>78</sup>. Sin embargo, la reducción esperada de sus costos haría que estas debilidades sean cada vez un obstáculo menor para su penetración en el mercado de almacenamiento de energía.

Los diferentes tipos de baterías de almacenamiento de energía dependen de los requerimientos para sus aplicaciones, con variables determinantes como la capacidad de carga, profundidad de descarga, vida útil, tiempos de los ciclos de carga/descarga, seguridad, dimensiones, y costos entre otros. Entre los varios usos que tienen las baterías de almacenamiento los más relevantes son los siguientes:

- Cambios en picos (peak shifting)<sup>79</sup>
- Cambios de carga (load shifting)<sup>80</sup>
- Gestión de red<sup>81</sup>
- Servicios auxiliares<sup>82</sup>
- Reserva de potencia<sup>83</sup>

Como ya mencionamos, se espera que la capacidad total instalada de baterías para almacenamiento llegue a 50 GWh en 2025; dentro de este total, el uso más importante será el de “cambios en picos” (40 GWh), impulsando un mercado de USD 3.900 mn. En cuanto al llamado “cambio de carga”, se requieren mayores reducciones de costos para que su aplicación se generalice (hoy compiten con sistemas como los de bombeo hídrico); se estima que este uso genere una capacidad demandada de 7,3 GWh en 2025. Asimismo, se espera que para 2025 la tecnología ion-litio sea líder en 4 de las 5 aplicaciones citadas (la excepción sería la de reserva de potencia, donde las baterías de plomo-ácido mantendrían su predominio). La proyección sobre la participación de las baterías ion-litio en la demanda de estas 5 aplicaciones para 2019 es del 95% –en 2015 llegaba al 56%– (Deutsche Bank, 2016; Lebedeva et al., 2016).



<sup>78</sup> La vida útil es la cantidad de ciclos de carga/descarga que puede realizar una batería antes de perder rendimiento. Se considerará la vida útil de una batería ha expirado cuando solo puede alcanzar el 60-80% de su capacidad completa de carga.

<sup>79</sup> La idea del peak shifting es que la energía generada en horas de baja demanda se utilice para cargar baterías que se descargan en los momentos de consumo pico. Esto puede aplicarse tanto a nivel industrial como hogareño. Por ejemplo, un hogar puede acumular energía en momentos de baja demanda -cuando la misma (dependiendo del sistema) tiene un menor costo-, y utilizarla en momentos donde la energía provista por la red eléctrica es más costosa, es decir, en los horarios pico.

<sup>80</sup> Esta aplicación es más utilizada a nivel industrial o a gran escala y permite trasladar grandes cantidades de energía acumulada en la noche a horarios diurnos. Los requerimientos para las baterías en esta aplicación son mayores que en el cambio de pico, ya que la duración del ciclo de carga y descarga debe ser mayor.

<sup>81</sup> Esta aplicación avanza incipientemente en proyectos piloto. La idea es que las baterías se vinculen inteligentemente con la red para poder contribuir a una distribución eficiente de la energía. Esto implica establecer requerimientos de seguridad y sistemas de precios adaptados a esta modalidad.

<sup>82</sup> La idea de esta aplicación es proporcionar servicios tales como abastecimiento de reserva, regulación de frecuencia y servicio auxiliar de reinicio de sistema ante apagones.

<sup>83</sup> Se utiliza para proporcionar energía de reserva de emergencia cuando la red eléctrica se cae. Se trata de un mercado estable con poco potencial de crecimiento.

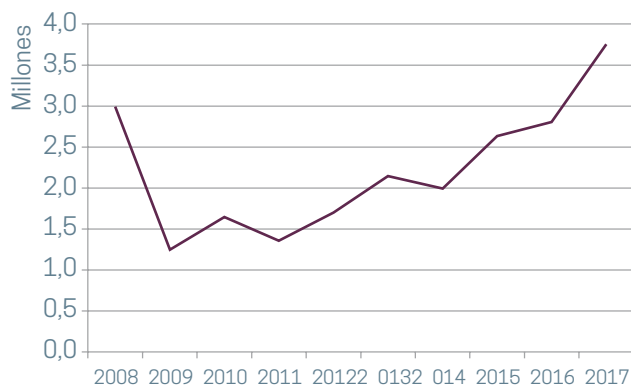
## 4.2 Producción de baterías y derivados de litio en la Argentina

En esta sección se analizarán las iniciativas argentinas en las actividades “aguas abajo” en la cadena de valor del litio. La presentación está organizada en torno a dos grandes segmentos de dicha cadena: en primer lugar, los compuestos y productos derivados de litio, en particular, hidróxido de litio, litio metálico e isótopos 6 y 7 de litio; en segundo lugar, las baterías de ion-litio y sus componentes.

### 4.2.1 Productos en base a litio

En la Argentina, el modelo de negocios implementado por las firmas que operan en los salares ha privilegiado la producción local de carbonato de litio –en el caso de FMC, también cloruro de litio–, para el posterior procesamiento de sus derivados en el exterior. Ello ha conducido a que el país deba importar el hidróxido de litio utilizado para la producción local de los bienes que lo necesitan como insumo (Gráfico 26).

**Gráfico 26. Importaciones de óxido e hidróxido de litio en la Argentina (valor CIF en USD mn; 2008-2017)**



Fuente: Comtrade.

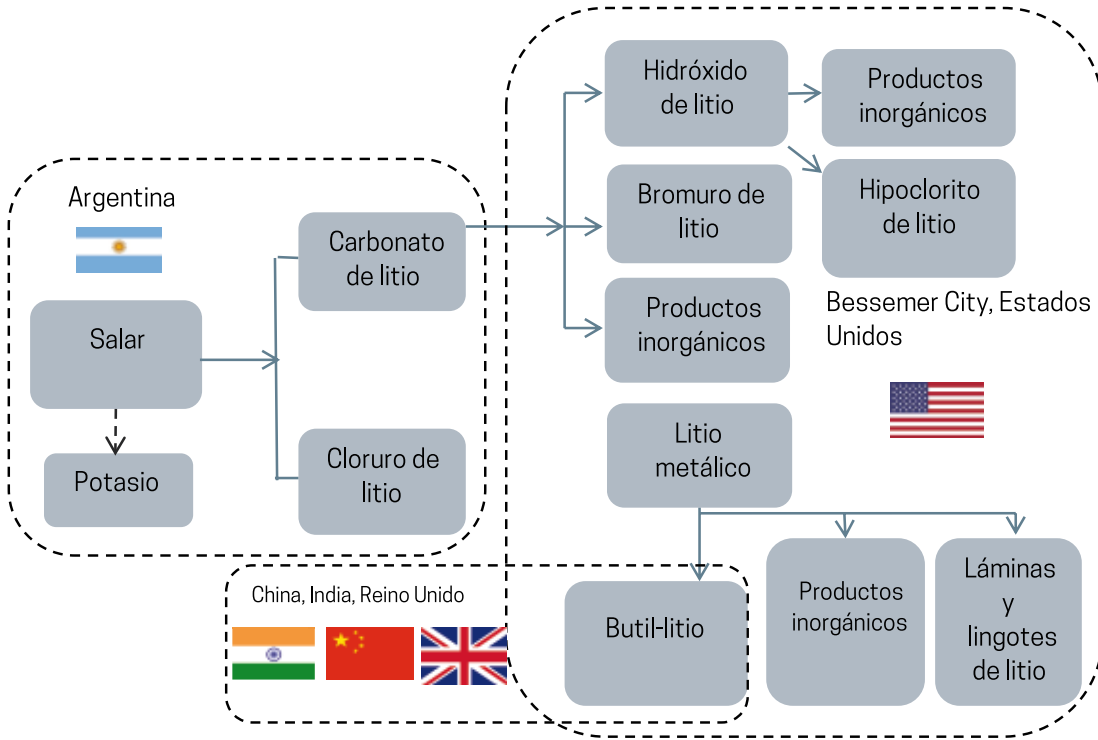
En la Figura 5, por ejemplo, se observa la distribución geográfica de la cadena de producción de litio de FMC. Allí se aprecia que el hidróxido de litio, el bromuro de litio, el butil-litio, el litio metálico y sus derivados se elaboran en las plantas que la firma tiene en Estados Unidos, China, India y el Reino Unido. Mientras que en el caso del butil-litio la cercanía geográfica con el lugar de demanda final se justifica por la peligrosidad de su traslado, en el resto de los casos existirían oportunidades para la expansión de la producción local en la Argentina.

Según se aprecia en el último informe anual presentado por FMC, la empresa está en proceso de profundizar este modelo de división del trabajo. En 2017, la capacidad de producción

de hidróxido de litio se expandió en China unas 9.000 tn, lo que representa una ampliación del 90% de la planta, que ahora llega a 19.000 tn. Hacia 2019, el objetivo de la compañía es alcanzar una capacidad de producción de 30.000 tn. En la Argentina, por su parte, FMC invertirá unos USD 300 mn para elevar la capacidad de producción de carbonato de litio a unas 40.000 tn hacia 2022 (FMC Corporation, 2018a). De acuerdo al informe de 2018 de la firma, la fuente de ingresos de su división litio se ha modificado sustancialmente: la participación del hidróxido de litio pasó de 27% (2014) de los ingresos al 59% (2018), mientras que, como contrapartida, el carbonato de litio cayó de 54% a 35% y el butil-litio y otros compuestos cayeron desde 19% a 6%.

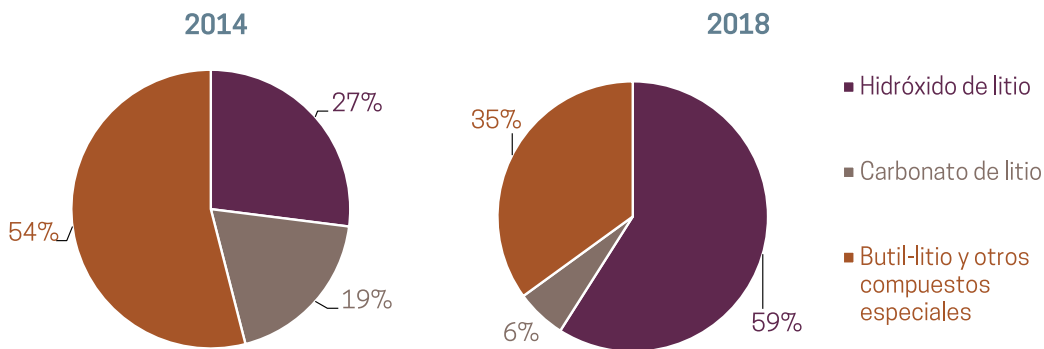
Debe destacarse que el hidróxido de litio ha ganado progresivamente importancia en relación al carbonato de litio como insumo para la producción de cátodos de baterías, en particular en cátodos que tienen un contenido de níquel superior al 50%, como los NCA y NMC. Aunque su precio es mayor al del carbonato de litio, tiene un desempeño más eficiente, ya que, al descomponerse a menores niveles de temperatura, permite una mayor cantidad de producción de material activo con menos energía. Actualmente, los países que extraen litio de salares tienen una desventaja en la producción de hidróxido de litio respecto a aquellos que lo hacen a partir de minerales. Mientras que, en estos últimos, el hidróxido de litio se produce a partir del concentrado de litio de espodumeno, los productores a partir de salares deben previamente obtener el carbonato de litio, sobre el que luego se produce el hidróxido de litio. En el CIDMEJU existen proyectos para el desarrollo –en colaboración con el INTI– de nuevos procesos para la producción de hidróxido de litio que eviten tener que producir antes el carbonato de litio, lo que permitiría reducir los costos de producción.

**Figura 5. Distribución geográfica de la cadena del litio de FMC**



Fuente: FMC Corporation.

**Gráfico 27. Evolución (izquierda: 2014; derecha: 2018) de las fuentes de ingresos de FMC Corporation (división litio)**



Fuente: FMC Corporation.

En la misma línea, Orocobre –socio mayoritario de Sales de Jujuy– ha anunciado un plan para construir en Naraha (Japón) una planta para la producción de hidróxido de litio<sup>84</sup>. El proyecto, que sería confirmado durante la segunda mitad de 2018, utilizaría como insumo el carbonato de litio proveniente del Salar de Olaroz. Por su parte, el proyecto de explotación de Minera Exar en la provincia de Jujuy –aún en fase de construcción y con fecha tentativa de inicio de la explotación en 2019–, prevé la producción de carbonato de litio. Uno de los accionistas de Lithium Americas –a su vez socia en Minera Exar–, la empresa de capitales chinos Ganfeng, es uno de los principales productores mundiales de hidróxido de litio, litio metálico, butil-litio y otros derivados. También SQM, otro de los socios, produce hidróxido de litio en la planta que opera en Salar del Carmen, próxima a la ciudad de Antofagasta. En este marco, según el modelo de negocios publicado por la empresa, en la Argentina se producirá carbonato de litio, quedando, probablemente, la responsabilidad de procesar los derivados de dicho producto en subsidiarias de la firma en el exterior.

Otro de los proyectos del CIDMEJU, en este caso con la participación de la firma Clorar, es el desarrollo de litio metálico. El potencial crecimiento de este producto está asociado al desarrollo de baterías de estado sólido, que tendrían más autonomía, menor tiempo de recarga y mayor seguridad que las baterías de ion-litio actuales. En esta tecnología, en la que trabajan firmas como Toyota, BMW y Dyson, el litio metálico sería utilizado como ánodo. Clorar ya ha realizado producción de muestras, para probar la factibilidad de la elaboración local. Sin embargo, el escalado del proceso presenta desafíos significativos. Uno de ellos concierne el desarrollo de procesos menos intensivos en energía. El costo de la energía en los principales países productores –China, Estados Unidos y Rusia– se ubica entre USD 0,05 y 0,07/kWh, muy por debajo del costo vigente en la Argentina que, de acuerdo a las estimaciones presentadas por Clorar hacia finales de 2017, se ubicaría en USD 0,10 kWh<sup>85</sup>.

Finalmente, el CIDMEJU, junto con la UNJU, está intentando desarrollar un proceso para alcanzar la separación isotópica de litio 6 y litio 7. Esta última puede lograrse vía la utilización del proceso de separación mediante columna de intercambio, y también mediante láser sobre vapor metálico o separación de éter de corona. En China, el Shanghai Institute Of Applied Physics (SINAP) ha desarrollado métodos de extracción centrífuga con un nivel de pureza del 99.99%.



<sup>84</sup> Aunque no se ha confirmado el acuerdo, la firma negocia con su socio en Sales de Jujuy, Toyota Tsusho Corporation, las condiciones de joint venture para la operación y explotación comercial de la planta.

<sup>85</sup> El dato surge de la presentación de Bruno Spadillero, socio de Clorar, en el Taller “Desafíos y oportunidades de la industrialización del litio en Argentina”, que tuvo lugar en San Salvador de Jujuy el 29 de noviembre de 2017.

### 4.2.2. Baterías y sus componentes (material activo, celdas)


A medida que el interés por la explotación de litio en Argentina fue creciendo, lo propio sucedió con la motivación de distintos grupos de actores por avanzar en la localización de procesos de industrialización del litio, con el objetivo de llegar a producir baterías de ion-litio en el país. A los fines expositivos, en esta sección el análisis se dividirá en dos partes: en primer lugar, se presentarán las iniciativas de investigación que surgen fundamentalmente de redes formadas al interior del sistema de CyT; en segundo lugar, se hará lo propio con las iniciativas en curso de mayor envergadura, orientadas a la producción local de baterías. Cabe aclarar, sin embargo, que ha existido una fuerte interacción entre los grupos de investigación y los actores del sector productivo, ya que los primeros han sido activos promotores de una agenda estratégica para la industrialización local del recurso<sup>86</sup>.

- Investigación y desarrollo en baterías y sus componentes en el ámbito universitario

En la Argentina se ha desarrollado una red que cuenta ya con una trayectoria de más de una década en la investigación sobre baterías de ion-litio. La misma ha sido liderada, principalmente, por Daniel Barraco y Ezequiel Leiva –ambos de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba– y Arnaldo Visintín –del Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) de la Universidad Nacional de La Plata. La red está integrada también por las siguientes instituciones:

- El Centro de Investigaciones y Transferencia de Catamarca (CITCA) del CONICET y el Centro de Física y Energía (CEFEN) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Catamarca.
- El Instituto Balseiro (Río Negro).
- El Laboratorio de Energías Sustentables, de la Universidad Nacional de Córdoba, integrado, además de FAMAF, por la Facultad de Ciencias Químicas y la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y por dos institutos CONICET: el Instituto de Investigaciones en Físico-Química (INFIQC) y el Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG).

En lo que respecta a las actividades de investigación y desarrollo, existe al interior de la red una división del trabajo según la cual el INIFTA lidera los trabajos sobre tecnologías de cátodos (litio-fosfato de hierro, litio-oxígeno, litio-azufre y litio-manganeso), mientras que el equipo de FAMAF, hace lo propio con las investigaciones sobre ánodos (silicio, grafito,

  
<sup>86</sup> Para un análisis de la historia reciente de estas iniciativas, se recomienda la lectura de Fornillo (2015a).

titanato, estaño) y electrolitos. El grupo ha desarrollado una amplia red internacional que se ha traducido en convenios con universidades de Alemania, Eslovenia, España e Italia. Y-TEC se ha incorporado a la red, involucrando tres investigadores propios. Recientemente, como se describirá más adelante, la empresa ha importado una planta piloto para la producción de material activo en colaboración con la empresa tecnológica italiana Lithops.

Aunque no forma parte de esta red, debe señalarse que los equipos de trabajo de los investigadores Ernesto Calvo (INQUIMAE) y César Barbero (Universidad de Río Cuarto) han trabajado sobre distintos aspectos tecnológicos de baterías litio-aire, incluyendo las reacciones químicas del cátodo de oxígeno y el desarrollo del carbón poroso especial que se usa para fabricar el electrodo de litio. Asimismo, Victoria Flexer tiene en el CIDMEJU una línea de trabajo sobre baterías litio aire.

Como se ha señalado, un rasgo particular de la red organizada en torno al INIFTA y FAMAf es que, además de los proyectos de naturaleza académica, ha mostrado interés por desarrollar iniciativas para avanzar en la industrialización del litio<sup>87</sup>. Sin embargo, a pesar de los avances desde el punto de vista tecnológico, hasta el momento no ha sido posible desarrollar un modelo de negocios que resulte atractivo para que empresarios operando en el país tomen la decisión de avanzar en la fabricación de baterías.

Desde 2011, se han presentado distintos proyectos que han involucrado a empresas nacionales como el grupo industrial Ithurbide-Plaka. En agosto de 2018, en el marco del proyecto “Moto Eléctrica Litio Catamarca” (MeLICA), liderado por la Universidad Nacional de Catamarca, se presentó el prototipo de una batería realizada con impresora 3D y una aplicación para teléfonos móviles que permite controlar el sistema de gestión de la batería y sus indicadores: temperatura, voltaje, corriente y velocidad<sup>88</sup>. La empresa SOL.Ar, cuyo presidente es Alejandro Cometto –vinculado a Ithurbide-Plaka–, y se especializa en la producción de las baterías, está interesada en el proyecto con el objetivo de incorporarlas a motocicletas.

Otro desarrollo en el ámbito universitario, vinculado a las baterías –aunque fuera de esta red–, corresponde a la Universidad de Cuyo. Un grupo de investigadores del Laboratorio de Metalurgia Extractiva y Síntesis de Materiales, de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, y del CONICET, entre los que se encuentran Mario Rodríguez, Daniela Suárez, Eliana Pinna y Celina Zeballos, ha desarrollado y patentado un método, exitoso en fase de laboratorio, para el reciclado de baterías de litio que, además de lograr una tasa de recuperación del 95% de los componentes, resulta mucho más amigable con el medioambiente en comparación con las líneas de desarrollo que predominan actualmente. En primer lugar, el método trabaja a temperatura ambiente, evitando los tratamientos a baja temperatura, el uso de



<sup>87</sup> Estas iniciativas han sido relevadas en detalle por Fornillo (2015a). En la actualidad, los principales referentes de esta red, Daniel Barraco (FAMAf), Ezequiel Leiva (FAMAf) y Arnaldo Visintín (INIFTA) trabajan activamente en el desarrollo de modelos de negocio y socios locales interesados en la producción de baterías.

<sup>88</sup> Ver <https://www.conicet.gov.ar/desarrollan-bateria-de-litio-para-motos-electricas/>.




sistemas al vacío o de gases inertes. Asimismo, utiliza ácidos orgánicos biodegradables, con menor impacto sobre el ambiente y se producen varios subproductos de aplicación industrial, minimizando la generación de efluentes (gaseosos, líquidos y sólidos). En 2018, se ha montado en Godoy Cruz, en la provincia de Mendoza, una planta piloto con capacidad para procesar 600 baterías mensuales. El objetivo es probar la tecnología y evaluar si es posible expandir la experiencia a otros puntos del país y tramitar la patente en China, Europa y Estados Unidos.

- Iniciativas en curso para la producción local de baterías

El principal proyecto para la fabricación de baterías en la Argentina se apoya en un convenio firmado el 8 de mayo de 2017 entre el grupo italiano SERI<sup>89</sup> y la empresa del Estado provincial jujeño JEMSE. En el marco de este acuerdo, en diciembre de 2017, se creó la empresa provincial Jujuy Litio, que sería el socio del grupo SERI en el país y en el mundo. El convenio tiene como objeto la constitución de una sociedad para la construcción de un complejo modular industrial en la provincia de Jujuy para la fabricación de material activo, celdas de litio y sistemas y/o dispositivos que utilicen baterías de este tipo.

Dentro del grupo SERI, es la firma FIB-FAAM (en adelante, FAAM) la que controla las unidades de negocio relacionadas con la acumulación de energía (Figura 6). FAAM inició sus actividades en 1974, en los sectores de movilidad, telecomunicaciones y smart grid. Tiene plantas productivas en Italia y en China, mientras que, en otros países de Europa, de Asia y en Sudamérica tiene socios para las áreas de venta y asistencia técnica. Actualmente, FAAM produce baterías con tecnología de litio-ferrofosfato para acumulación de energía fotovoltaica de uso doméstico e industrial, ensambladas a partir de la importación de celdas<sup>90</sup>.

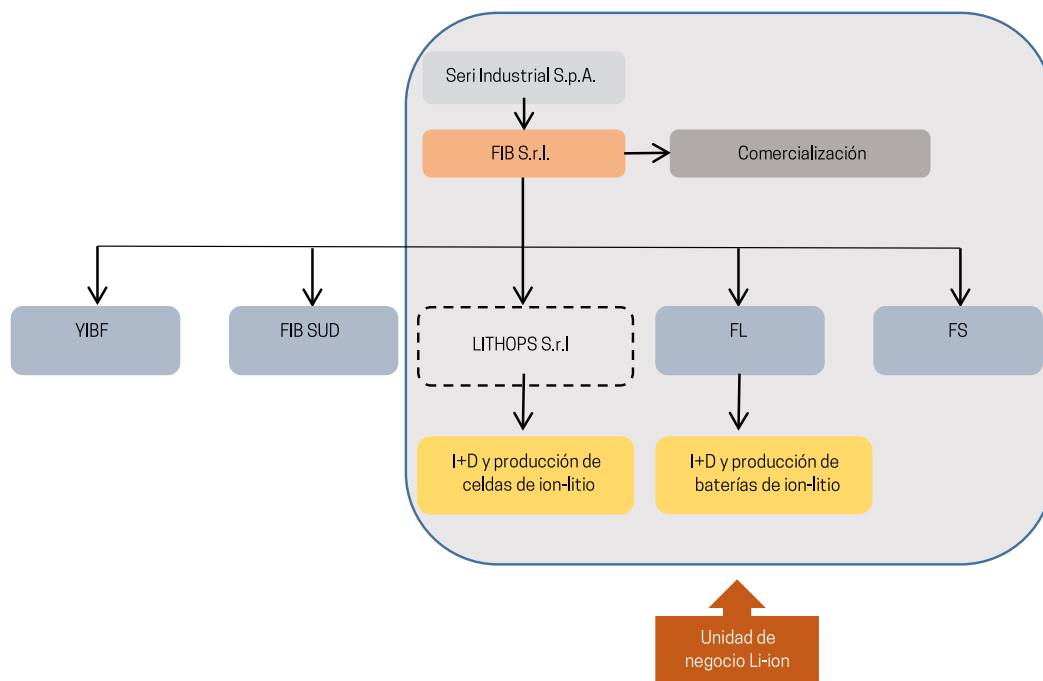
---



<sup>89</sup> Para más información sobre el grupo SERI, ver <http://www.serispa.it/>.

<sup>90</sup> Las especificaciones técnicas de las baterías pueden encontrarse en <https://www.faam.com/media/attachments/2017/05/22/listore.pdf> y en <https://www.faam.com/media/attachments/2017/12/28/standby.pdf>

Figura 6. Unidades de negocio del Grupo SERI vinculadas al litio



Fuente: Lithops S.R.L.

Los compromisos básicos asumidos por JEMSE en el marco del convenio firmado incluyen<sup>91</sup>:

- Contribuir a la constitución de una sociedad mediante un aporte de al menos 60% del valor del capital para determinar la versión definitiva del modelo de negocios<sup>92</sup>;
- Negociar con la administración de la provincia de Jujuy el desarrollo y la implementación de programas provinciales para la utilización de los bienes que se producirán en el complejo y la obtención de un terreno para la construcción del mismo.

Por su parte, FAAM ha manifestado su interés por evaluar, en caso de darse las circunstancias adecuadas, eventuales aportes (en especie, mediante la transferencia de know how) a la sociedad a constituirse. Vale decir, en este sentido, que el grupo SERI “debe aún entrar”<sup>93</sup> en el mercado de baterías de ion-litio. A tal fin, está construyendo una planta para la producción de material activo, celdas de ion-litio y baterías con capacidad de 200 mWh en las cercanías de Nápoles, para fabricar baterías utilizadas en sistemas de almacenamiento de energía y movilidad a nivel industrial.

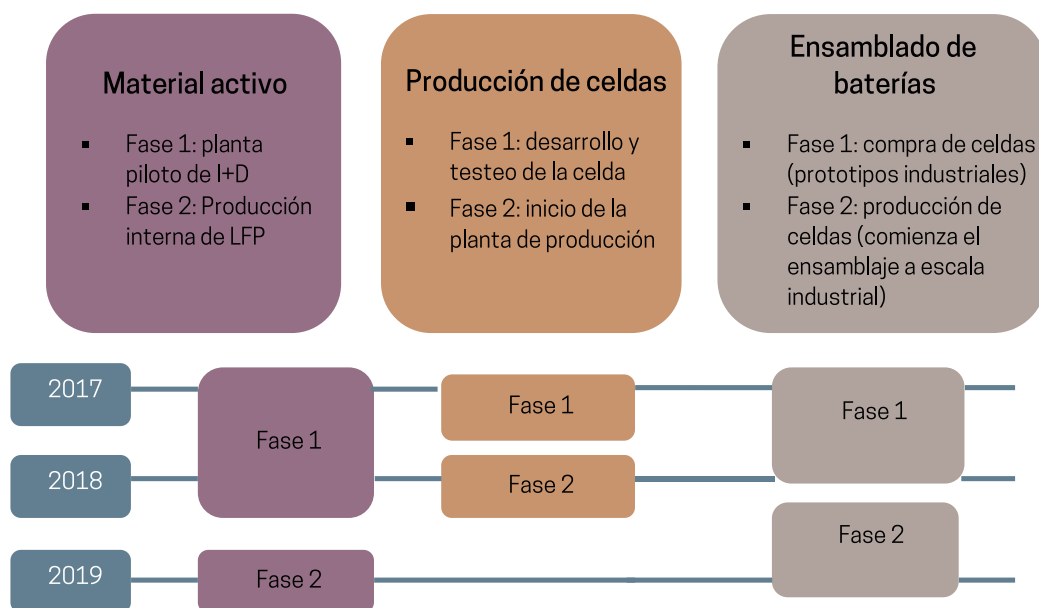
<sup>91</sup> La información ha sido tomada del Informe de prensa K.R.Energy S.p.A. disponible en <http://www.krenergy.eu/index.php/2017/comunicati?view=download&id=680>. En el Anexo III se reproduce el texto original con la información relativa al convenio firmado con JEMSE.grupo SERI, ver <http://www.serispa.it/>.

<sup>92</sup> Según la información recogida durante el trabajo de campo, la proporción 60%/40% de cada una de las partes podría variar en función del ingreso de nuevos socios al proyecto. Según la información recogida durante el trabajo de campo, la proporción 60%/40% de cada una de las partes podría variar en función del ingreso de nuevos socios al proyecto.

<sup>93</sup> La expresión surge del informe de determinación del valor económico del capital social de SERI Industrial S.p.A, de 2016, elaborado por el estudio Fiordiliso & Associati (p. 27), disponible en <http://www.krenergy.eu/media/attachments/assemblee2017/assembleamaggio/RelazionedistimaSERIIndustrialexart2343-tercodciv-dic2016parte2.pdf>

El grupo ha planteado para su planta italiana un plan de negocios de tres años, que comprende dos fases para tres áreas del segmento de baterías de litio, a saber: el material activo, las celdas y las baterías (Figura 7). La primera fase consiste en la construcción de una planta piloto para actividades de I+D en las áreas de material activo (2017-2018), el desarrollo y testeo de las celdas (2017) y la compra de prototipos industriales para el ensamblaje de baterías (2017-2018). En una segunda etapa, se avanzaría en la producción de material activo litio-ferrofosfato (2019), la producción de celdas (2018) y el ensamblaje industrial de baterías (2019). La planta estaría diseñada, principalmente, para producir baterías que utilicen LFP como material activo, aunque otros materiales (por ejemplo, NMC, NCA, LTO, etc.) podrían ser utilizados, dependiendo de las demandas de los clientes.

**Figura 7. Áreas y fases del plan de negocios del Grupo SERI en el “Proyecto Litio”**



Fuente: Grupo SERI.

La escala de producción de la planta se correspondería con la de aquellas que operan en otros países europeos (ver Cuadro 9). En comparación con sus similares asiáticas, las plantas europeas, que explican menos del 1% del mercado global de baterías, son menos numerosas y mucho más pequeñas.


**Cuadro 9. Empresas europeas con producción de baterías de litio**

Empresa	País	Capacidad de producción (mWh)	Usos
SAFT	Francia	60	Aplicaciones espaciales, militares y aeronáuticas
EAS Germany GmbH	Alemania	100	Aplicaciones espaciales, marítimas, automotrices y submarinas
Litarion GmbH	Alemania	500	Telefonía celular y energía estacionaria
Leclanché GmbH	Alemania	100	Acumulación de energía
European Battery Technologies	Finlandia	30	Grandes baterías recargables basadas en celdas y sistemas de baterías prismáticos que pueden ser utilizados en trenes híbridos y eléctricos y para acumulación de energía de fuentes renovables
Custom Cells Itzehoe GmbH	Alemania	20	Varios
Advanced Lithium System Europe S.A.	Grecia	100	Defensa (por ejemplo, torpedos)
AGM Batteries Ltd	Reino Unido	50	Defensa, mercados del petróleo y el gas
SSL Energie GmbH	Alemania	0,1	Telecomunicaciones, plantas industriales y electro-movilidad (en tierra y agua)
Bolloré	Francia	500	Baterías especiales con celdas de estado sólido y ánodos de litio metálico
<b>Total</b>		<b>1460,10</b>	

Fuente: elaboración propia en base a Lebedeva et al. (2016).

Según se prevé, la planta en la Argentina sería una réplica de aquella que se montará en Italia. En una primera etapa, la inversión prevista para esta planta ascendería, según estimaciones difundidas y confirmadas en el trabajo de campo, a unos USD 60 mn. Las funciones de la planta se concentrarían, inicialmente, en el ensamblado de baterías. No están definidos los plazos para avanzar hacia las tareas de producción de material activo y celdas. De acuerdo al esquema presentado para la planta de Nápoles, se estima que se emplearían alrededor de 65 personas. La localización sería el parque industrial de Perico, a 35 km de San Salvador de Jujuy<sup>94</sup>.

El beneficio mutuo del acuerdo, según entienden las partes, representaría, en el caso de la provincia de Jujuy, una oportunidad para “agregar valor” al carbonato de litio producido en la zona, además de generar puestos de trabajo en el sector manufacturero. Por el lado del grupo SERI, el acuerdo representa la posibilidad de acceder a un derecho prioritario para comprar hasta el 5% de la producción anual del litio al que tiene acceso JEMSE por su participación en las operaciones en Sales de Jujuy<sup>95</sup>. En las condiciones actuales de estrangulamiento del mercado de litio a nivel mundial, ello le permitiría eliminar un problema crítico para

 <sup>94</sup> En febrero de 2018 se reactivó una zona franca que se localiza en la ciudad de Perico. Si bien aún no se han revelado detalles sobre la operatoria de la planta de baterías, es posible que el modelo de negocios incorpore la posibilidad de realizar importaciones a través de la zona franca.

<sup>95</sup> Según la información recogida durante el trabajo de campo, el gobierno de Jujuy se encuentra en tratativas para extender la cuota al 10%, incorporando a Sales de Jujuy a la iniciativa.

su modelo de negocios, orientado a controlar la cadena de valor desde la materia prima al reciclaje de las baterías agotadas<sup>96</sup>. El proyecto de FAAM, bautizado “de la cuna a la tumba” (dalla culla alla tomba), ya es aplicado en la unidad de negocio de baterías de plomo-ácido<sup>97</sup>.


El volumen de litio a disposición del proyecto supera ampliamente las cantidades necesarias para la escala de producción inicial de baterías. El excedente permitiría, según prevén sus responsables, que la sociedad se convierta en un jugador mundial en la producción de material activo para baterías. Como se verá debajo, el grupo SERI (en particular, su empresa de base tecnológica Lithops) está trabajando junto a Y-TEC en el desarrollo de material activo. La planta en Jujuy tendría como potencial destino el mercado sudamericano –aunque no existe actualmente demanda de material activo en la región, puesto que no se producen baterías–, mientras que la demanda europea sería atendida desde Italia. En el caso del mercado asiático, se está evaluando la posibilidad de que, una vez confirmada la iniciativa, se puedan construir plantas en China e India. En todos los casos, como se ha señalado, Jujuy Litio participaría como socio de los emprendimientos que se concreten en otras partes del mundo y que utilicen la cuota de JEMSE.

Este plan de negocios, según la información recogida en el trabajo de campo, se replicaría en la provincia de Jujuy, donde, una vez completadas las tres etapas, se produciría material activo, celdas y baterías. En la fase inicial, prevista para 2018 o comienzos de 2019, se ensamblarían baterías con partes importadas. La planta tendría tres islas de montaje, con capacidad de adaptar la producción a distintos tipos de baterías.

Con relación a los mercados de destino de las baterías ensambladas en Jujuy, como se ha señalado anteriormente, sería el gobierno de la provincia el responsable del “desarrollo y la implementación de programas provinciales para la utilización de los bienes que se producirán en el complejo”<sup>98</sup>. Hasta el momento, existirían tres proyectos en estudio:

- i) la reconversión de la flota de buses urbanos;
- ii) la producción de baterías de respaldo de uso industrial; y
- iii) la provisión de baterías para acumulación de energía para el parque solar de Cauchari, en proceso de construcción en la provincia<sup>99</sup>.

De estos tres proyectos, cabe destacar, solo el último se encuentra totalmente bajo la jurisdicción de la provincia de Jujuy (descartando, por supuesto, la posibilidad de que solo se pretenda renovar las flotas de buses urbanos de esta provincia). El primero requeriría coordinación con otras jurisdicciones, mientras que el segundo supondría una competencia direc-

 <sup>96</sup> En un comunicado de prensa publicado por el grupo SERI, se lee: [...] “Gerardo Rubén Morales, gobernador de la provincia de Jujuy, al finalizar la reunión declaró: ‘Actualmente, JEMSE dispone del 5% de la producción de carbonato de litio, equivalente a 17.000 toneladas, que en los próximos 4 años alcanzarán 90.000. Todo esto estará puesto a disposición del proyecto’ [traducción propia].

Versión original: Gerardo Ruben Morales, Governatore della Provincia del Jujuy, a margine dell’incontro ha dichiarato: “Ad oggi la JEMSE dispone del 5% della produzione di carbonato di litio pari a 17.000 tonnellate, che nei prossimi 4 anni arriverà a 90.000. Tutto ciò verrà messo a disposizione del progetto” [<http://www.serispa.it/index.php/comunicati>].

<sup>97</sup> Fuente: <https://www.faam.com/company/storia>.

<sup>98</sup> La expresión es tomada de la carta de intención presentada en Anexo III.

<sup>99</sup> Las baterías de respaldo son sistemas de alimentación de energía ininterrumpida (comúnmente conocidas como UPS, por sus siglas en inglés), que ofrecen energía de reserva ante cortes o cambios en la tensión.

ta en el mercado con productos similares que utilicen tecnologías alternativas.

En el caso de los buses, la reconversión mencionada tendría un costo aproximado de EUR 5.437 mn –considerando una flota de 29.392 unidades, y un costo estimado de EUR 185.000 por unidad<sup>100</sup>. En Italia, FAAM tiene experiencia en procesos de estas características, por haber formado parte del proyecto liderado por la firma Pininfarina de reconversión de buses urbanos, presentado en 2011, y que contó con financiamiento del gobierno de la región Piemonte<sup>101</sup>.

Como se ha mencionado, otro de los actores involucrados con el grupo SERI es la firma Y-TEC, que tiene como principal misión brindar soluciones tecnológicas al sector energético y formar especialistas para el desarrollo de la industria de la región. Como se ha mencionado, en conjunto con los equipos liderados por Aldo Visintin (INIFTA/CIDMEJU) y Daniel Barraco y Ezequiel Leiva (FAMAF), Y-TEC forma parte de un proyecto de I+D con la firma Lithops, una empresa de base tecnológica que opera en Turín, fundada en 2010 y adquirida en 2015 por el grupo SERI, como parte de su plan “Proyecto Litio”.

La tecnología para la producción del material activo se encuentra aún en desarrollo por parte de Lithops e Y-TEC. Las firmas trabajan sobre un proceso para la producción de LFP, que se encuentra a nivel de planta piloto, en colaboración con el Politécnico de Milano –Lithops también trabaja sobre el desarrollo de celdas. Asimismo, esta empresa participa de distintos consorcios europeos de investigación que tienen por objetivo desarrollar tecnologías para baterías de ion-litio<sup>102</sup>. En abril de 2018, Y-TEC importó una planta piloto para la producción de celdas con el objetivo de validar procesos para la producción local de materiales activos y desarrollar el escalado. Con una perspectiva de más largo plazo, se trabaja en el desarrollo de material activo tanto para aquellas baterías que se producen en la actualidad como para las que utilizarían cátodos de sodio o azufre.

Debe destacarse que el objetivo último de Y-TEC y de los grupos de investigación del CONICET asociados al proyecto no es la producción de material activo. De hecho, Y-TEC no está involucrada en el proyecto de producción de baterías llevado a cabo por Jujuy Litio y el grupo SERI. Por lo tanto, una vez desarrollada la tecnología, se debería buscar un socio local interesado en producirla (YPF podría ser un candidato) o, en su defecto, alguna firma interesada en licenciar la tecnología.



**100** Los datos corresponden a vehículos automotores que prestan servicios públicos de transporte de pasajeros en el ámbito urbano. La distribución entre jurisdicciones sería de 10.607 unidades municipales, 9.943 nacionales y 8.842 provinciales. Fuente: Observatorio Nacional de Datos de Transporte (Universidad Tecnológica Nacional), en base a datos de la Comisión de Regulación Nacional del Transporte.

**101** Para más información ver [http://www.pininfarina.it/en/hybus/?category\\_nav=engineering](http://www.pininfarina.it/en/hybus/?category_nav=engineering).

**102** Por ejemplo, los programas financiados por la Unión Europea: *Materials for Ageing Resistant Lithium Ion Energy Storage for the Electric Vehicle (MARS-EV)*, del Séptimo Programa Marco de la UE (<http://www.mars-ev.eu/homepage>); o *Electrolyte, Cathode and Anode Improvements for Market-near Next-Generation Lithium Ion Batteries (eCAIMAN)*, financiado por Horizonte 2020 (<http://www.ecaiman.eu/index.php?id=role-in-the-project>).

### 4.2.3. Desafíos que presenta el proyecto de fabricación local de baterías

Como se ha discutido, actualmente el mercado mundial de baterías y sus componentes está dominado por países asiáticos, tanto en términos de volumen como de costos de producción. En lo que se refiere a baterías, la participación de China es casi absoluta en la tecnología de litio-ferrofosfato, de la que explica el 92% de la oferta mundial (Cuadro 10).

En este escenario, el objetivo de la alianza entre Jujuy Litio y el grupo SERI de participar de todas las actividades que forman parte de la cadena de valor (“dalla culla alla tomba”) plantea importantes desafíos. Aunque no ha sido posible acceder a las estimaciones de costos del proyecto del grupo SERI, es de esperar que el lanzamiento del mismo tenga lugar durante la fase ascendente de la curva de aprendizaje de la firma, toda vez que, actualmente, el grupo produce baterías de litio a partir de la importación de componentes, y sus procesos internos para la producción de material activo y celdas se encuentran en fase de prueba piloto. Por lo tanto, los precios de comercialización se encontrarán por encima de los de mercado.

**Cuadro 10. Producción de baterías y sus componentes**

Producto	Distribución geográfica de la oferta
Material activo de cátodos	China: 39% Japón 19% Europa: 13% Corea: 7% Otros: 22%
Material activo de ánodos	Japón: 57% China: 27% Corea: 5% Estados Unidos 1% Otros: 10%
Electrolitos	China: 60% Japón: 18% Corea: 7% Estados Unidos 7% Otros: 8%
Separadores	Japón: 48% China: 17% Estados Unidos 12% Corea: 10% Otros: 13%
Baterías	LFP: China 92%; Otros 8% LCO: China 61%; Otros 39% LMO: China 60%; Otros 40% NMC: China 55%; Otros 45% NCA: China 7%; Otros 93%

Fuente: Lebedeva et al. (2016) en base a datos producidos por Avicennes.

Esta situación plantea la necesidad de definir cuál será la estrategia de comercialización de las baterías y cuándo se espera, según el modelo de negocios formulado, alcanzar el punto de equilibrio. Dado que la provincia de Jujuy se ha comprometido de algún modo a buscar, o “crear”, los mercados domésticos para la producción de baterías, los eventuales compradores deberían estar dispuestos a pagar un sobre-precio por los productos o, el Estado –en cualquiera de sus niveles– a subsidiar la compra, con el objeto de fomentar un proceso de desarrollo productivo o tecnológico bajo algún esquema de compras públicas para la innovación<sup>103</sup>.

En este caso, sin embargo, sería deseable contar con una planificación que indique cuál es el sendero de aprendizaje que debería seguir la firma para que su producción se vuelva competitiva. No debe dejar de señalarse que la tecnología seleccionada (LFP) está consolidada en el mercado y los actores dominantes cuentan con procesos de producción ya maduros, lo que constituye una barrera a la entrada de nuevos competidores.

Como se ha discutido anteriormente, hasta el momento, las opciones de comercialización se orientarían a la compra de baterías con algún tipo de intervención pública, por ejemplo, mediante un esquema de subsidios para la conversión de la flota de buses urbanos o para la acumulación de energía producida por fuentes renovables. Ello también requeriría cierta coordinación con las instancias federales de gobierno, por ejemplo, en lo que se refiere a los instrumentos de política comercial que regulan la importación de este tipo de vehículos. En este sentido, en enero de 2018, se promulgó un decreto que fija un cupo para la importación de 350 buses eléctricos con un arancel reducido. Asimismo, se otorga un tratamiento arancelario diferencial a las empresas que pretendan producir localmente ómnibus eléctricos, con niveles de integración nacional de un mínimo de 10%, durante los primeros dos años, y 25% a partir del tercer año<sup>104</sup>. Hasta el momento, las empresas que han mostrado interés por la fabricación local de buses son Bravo Motor Company –de origen argentino, pero con sede en Estados Unidos–, CTS Auto –en alianza con la china BYD– y Dongfeng. En principio, ninguna de estas firmas compraría baterías a la alianza Jujuy Litio-SERI, ya que las producen internamente o las adquieren a sus socios estratégicos. Por lo tanto, el nicho de la alianza Jujuy Litio-SERI quedaría restringido a la conversión de buses para aquellas empresas que no deseen comprar unidades nuevas.

Hasta el momento, las empresas que han mostrado interés por la fabricación local de buses son Bravo Motor Company –de origen argentino, pero con sede en Estados Unidos–, CTS Auto –en alianza con la china BYD– y Dongfeng. En principio, ninguna de estas firmas compraría baterías a la alianza Jujuy Litio-SERI, ya que las producen internamente o las adquieren



<sup>103</sup> Desde una perspectiva amplia, Edler (2009) utiliza el término “políticas de innovación basadas en la demanda”, a las que define como “un conjunto de medidas públicas para incrementar la demanda de innovaciones, para mejorar las condiciones para la adopción de innovaciones y/o para mejorar la articulación de la demanda con el propósito de estimular la innovación y la difusión de innovaciones” (p. 3).

<sup>104</sup> Ref. Dto 51/2018: <https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/177686/20180117>.



a sus socios estratégicos. Por lo tanto, el nicho de la alianza Jujuy Litio-SERI quedaría restringido a la conversión de buses para aquellas empresas que no deseen comprar unidades nuevas.

Otro de los aspectos que debe aclararse del proyecto de fabricación local se refiere a las posibilidades reales de replicar el modelo de negocios previsto para la planta que el grupo SERI instalará en Nápoles. Varias de las personas entrevistadas durante el trabajo de campo han llamado la atención sobre aspectos que comprometerían la eficiencia técnica y la viabilidad económica de localizar en la Argentina la producción de material activo, celdas y baterías, al menos en las condiciones previstas.

Como se observa en el Cuadro 11, el costo de producción de los electrodos y otros materiales supera el 50% del costo de la batería, mientras que el litio supone, dependiendo de la tecnología utilizada, entre el 4% y el 10% de aquel. Gran parte de los componentes para la producción del material activo, los electrodos y la batería deberían inicialmente importarse, puesto que, en la actualidad, no hay disponibilidad en la Argentina. Este es el caso, por ejemplo, del grafito, cuya producción se encuentra concentrada a nivel mundial, como hemos visto más arriba, en China, India y Brasil.

**Cuadro 11. Estructura de costos promedio de la batería de ion-litio**

Concepto	Participación
Depreciación	18%
Cátodo	16%
Otros materiales	12%
Separador	10%
Electrolito	8%
Ánodo	6%
Margen	6%
Chatarra	4%
I+D	4%
Servicios de ingeniería	4%
Trabajo directo	4%
Garantía	3%
Overheads	3%
Ventas y administración	2%
Total	100%

Del mismo modo, se ha señalado que el equipamiento para la producción de celdas –que, recordemos, todavía no ha sido implementada por el grupo SERI a escala industrial– es sofisticado. Asimismo, la falta de claridad respecto a la demanda del mercado sudamericano, –que sería, eventualmente, la principal referencia para la planta argentina–, lejos de los principales centros de consumo, plantea dudas respecto a la conveniencia económica de su instalación en Jujuy. De hecho, Y-TEC elaboró un caso de negocios con el objetivo de evaluar la viabilidad económica de la fabricación local de celdas. Las conclusiones del estudio pusieron de relieve que los obstáculos que enfrenta una empresa de estas características son muy significativos y afectan la posibilidad de encontrar actores privados interesados en participar del negocio. Entre los más relevantes se encuentran la incertidumbre respecto a los costos reales de producción y la dimensión del potencial mercado junto con la elevada inversión requerida para montar la planta –en torno a los USD 60 mn.



# 5

## EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE POLÍTICA


### 5.1. Chile

Como vimos en secciones previas, Chile es uno de los principales productores de litio del mundo y el primer país en procesar litio a partir de salares a gran escala. El interés por el litio en este país emerge en la década de 1960, en el marco de su utilización en la fabricación de bombas de hidrógeno. En 1969 se iniciaron exploraciones en el Salar de Atacama, a cargo del Instituto de Investigación Geológicas (IGG) y en 1970 se puso en marcha un programa de prospección llevado adelante por CORFO<sup>105</sup>.

Un aspecto central a tener en cuenta es que, tal como se mencionó más arriba, en 1976 el litio fue declarado de interés nuclear en Chile (a través de la ley orgánica de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, CChEN). En 1979 se estableció su carácter estratégico, nuevamente por sus aplicaciones en el sector nuclear. En 1982 la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras (Nº18.097) lo declaró como sustancia no susceptible de concesión minera, “sin perjuicio de las concesiones mineras válidamente constituidas con anterioridad a la correspondiente declaración de no concesibilidad o de importancia para la seguridad nacional”. Estas concesiones incluían las propiedades de CORFO en el Salar de Atacama y las de la Corporación Nacional del Cobre (CODELCO) en los salares de Pedernales y Maricunga. En vistas de esta normativa, desde entonces, la explotación de litio se puede realizar en Chile solo directamente por el Estado, o bien por firmas privadas mediante contratos especiales de operación o concesiones administrativas. Actualmente, el Estado chileno tiene en arriendo a dos titulares sus pertenencias en el Salar de Atacama: SQM y Albemarle.

En el contexto más reciente, en el que se ha apaciguado la sensibilidad que despierta el litio en tanto insumo utilizado en el ámbito nuclear y, en cambio, ha ganado importancia por ser un recurso económicamente valioso, en 2014, bajo la administración de Michelle Bachelet,

---



<sup>105</sup> En el Anexo IV se resumen los principales hitos en la historia del litio en Chile, tanto desde el punto de vista normativo como desde los actores intervinientes en las acciones vinculadas a la producción y comercialización de dicho recurso.

se creó la Comisión Nacional del Litio, integrada por funcionarios y expertos de distintas disciplinas (provenientes tanto del sector académico como privado), con el propósito de generar una “visión estratégica” en torno a una política nacional para el litio que garantice una gestión sustentable de los salares y donde el Estado cumpla un rol normativo, regulador y fiscalizador. A tal fin se proponía crear una nueva institucionalidad pública coordinadora que, entre otras tareas, estableciera modalidades de exploración y explotación, flujos máximos de extracción de salmueras y programas anuales máximos de comercialización del litio.

En el documento final de la Comisión también se manifiesta que el diseño de una política para el litio no debe considerar sólo este metal, sino que debe orientarse a asegurar la sustentabilidad del conjunto de los salares del norte del país, ya que estos últimos son ambiente naturales frágiles, habitados por pueblos indígenas, y que contienen otros recursos económicamente valiosos (Comisión Nacional del Litio, 2015). En consecuencia, en paralelo a la necesidad de alcanzar altos niveles de eficiencia y sustentabilidad en la recuperación de sales de interés comercial, el informe también destaca la importancia de minimizar la generación de residuos sólidos y asegurar una eficiente reinyección de salmueras, ya que ambos factores, si no son manejados adecuadamente, podrían generar una pérdida del valor económico de los recursos presentes en los salares.

En ese marco, la Comisión propuso crear una nueva empresa pública o sociedad anónima estatal (o bien una filial de las actuales empresas existentes, pero dedicada exclusivamente a este fin), dotada de las atribuciones y competencias necesarias para desarrollar una serie de funciones en la cadena del litio, incluyendo la exploración y explotación (preferentemente en asociación con terceros) de los salares, la realización de actividades de monitoreo del mercado internacional, la promoción del conocimiento científico-tecnológico en las distintas etapas de la cadena y el fomento de la inversión en los salares apuntando a garantizar condiciones de sustentabilidad y la generación de valor agregado doméstico. En este último apartado se incluyen aspectos tales como la elaboración local de productos de mayor valor agregado y el abastecimiento de insumos y servicios relacionados; paralelamente se busca promover la vinculación con otras industrias con potencial de consumo creciente de productos de litio y otras sales, particularmente en temas energéticos.

La Comisión consideró que, en verdad, el “actual sistema de concesiones judiciales mineras no resulta aplicable a los salares si lo que se quiere hacer es una explotación racional y sustentable del litio contenido en ellos, conjuntamente y por un mismo explotador, del resto de la riqueza minera que hoy se califica como concesible. [...] La actual legislación define que la explotación de las pertenencias mineras estará delimitada por la extensión territorial

establecida en el otorgamiento de la concesión minera. Bajo el subsuelo que comprende esta extensión, el titular de la concesión tendrá el derecho de explotación de los recursos minerales concesibles que ahí se encuentren” (Comisión Nacional del Litio, 2015, p. 25). Sin embargo, mientras que la explotación minera tradicional se basa en depósitos minerales estáticos, los recursos salinos en salmueras tienen un comportamiento hidrodinámico y, por tanto, la extracción de salmueras en un determinado punto del salar tiene el potencial de afectar las concentraciones presentes en una zona contigua a la que es explotada, ya que se trata de un mismo cuerpo salino y en movimiento. A esto se suma la fragilidad ecosistémica de los salares, en particular por el hecho de que la extracción de salmueras puede afectar los recursos hídricos presentes en los mismos.

En cuanto a los contratos vigentes para la explotación del litio (en el momento de creación de la Comisión, en manos de SQM y Rockwood), se partía de un diagnóstico crítico, a partir del cual se recomendaba su revisión y la no renovación a su vencimiento. Este diagnóstico se apoyaba en factores tales como los pobres estímulos para la generación de valor agregado local y el escaso nivel de transferencia de tecnología, la baja capacidad de fiscalización de las operaciones en los salares (incluyendo niveles de extracción e impactos ambientales), las reducidas compensaciones que percibían las comunidades locales por las externalidades negativas sufridas a partir de la explotación del litio y el bajo nivel de regalías percibido por el Estado (de hecho en la explotación de Albemarle no se recibían regalías porque CORFO había capitalizado su aporte en la empresa).

En este contexto, la Comisión sugirió que en los contratos de asociación público-privada que autorizasen la explotación del litio se establezca una política de regalías, gravámenes y otros cobros que se apliquen sobre el precio de venta final del conjunto de los productos derivados del litio y que a su vez contemple mecanismos flexibles para adecuar el valor de las regalías a las condiciones cambiantes del mercado mundial. Asimismo, se recomendaba que los contratos contemplaran un trato preferencial para incentivar el proceso de explotación, industrialización y comercialización de productos elaborados en base a litio, privilegiando la agregación de valor local y que una parte significativa de las rentas captadas por el Estado se destinara a garantizar la sustentabilidad ambiental, económica y social de la actividad.

Como consecuencia de las recomendaciones de la Comisión, se renegociaron los dos contratos vigentes, dando lugar a una significativa mejora en las condiciones de explotación desde el punto de vista de los intereses de la sociedad chilena. En diciembre de 2016 entró en vigencia la modificación del acuerdo con Albemarle. El mismo contempla una inversión de USD 600 mn y autoriza a Albemarle a ampliar su producción desde 26.000 tn anuales

a 82.000 tn durante los próximos 27 años. Más conflictivo resultó el caso de SQM, ya que desde 2013 se habían iniciado demandas de parte del Estado por incumplimientos en los contratos y supuestas maniobras para impedir un proceso licitatorio en 2030, cuando vencía el contrato entonces vigente. Finalmente, luego de diversos arbitrajes, en enero de 2018 se materializó el nuevo acuerdo con SQM. En el Cuadro 12 se comparan las condiciones contractuales antes y después de la renegociación con SQM (en general las mismas condiciones se aplican al nuevo contrato con Albemarle).

Para ilustrar el impacto de las renegociaciones sobre las rentas percibidas por la sociedad chilena, se calcula que, manteniendo las condiciones del contrato anterior de SQM, para 2018 el Estado chileno hubiese percibido, en todo concepto, USD 327 mn y, para 2030, USD 42 mn, lo que totaliza para el periodo 2018-2030 casi USD 2.000 mn. Con la renegociación el Estado recibirá en 2018 un monto levemente superior (USD 378 mn), pero además se contemplan USD 37 mn para la comunidad y USD 11 mn para I+D. Lo más destacable es que la renta a percibir por el Estado aumentará progresivamente hasta 2030, cuando alcanzará USD 1.097 mn, lo cual totaliza para el periodo más de USD 9.500 mn. La misma situación surge con el nuevo contrato de Albemarle, donde el Estado recibirá en 2018 USD 165 mn, con aportes a la comunidad (USD 12 mn) y fondos para I+D (USD 7 mn); la renta estatal en este caso totalizará USD 3.425 mn en el periodo 2018-2030 y USD 6.850 mn hasta 2043 (cuando vence el contrato). Recuérdese que, en este caso, la mayoría de estos ingresos son ganancias netas frente a la situación anterior, ya que Albemarle no pagaba regalías hasta la renegociación –estimaciones presentadas en CORFO (2018b).

Otro aspecto central del documento de la Comisión se vinculaba con la competitividad de la cadena del litio en Chile. Allí se recordaba que las condiciones naturales del Salar de Atacama permiten producir a los más bajos costos mundiales, a pesar de los mayores precios de la energía y de los insumos importados. Sin embargo, en otros salares del país, dichas ventajas naturales no están presentes, por lo que resulta necesario investigar si hay tecnologías alternativas más convenientes para dichas áreas.

**Cuadro 12. Comparación de las condiciones contractuales con SQM antes y luego de la renegociación**

Materia	1993 - 2017	2018 (aprobado)
Cobro por el litio	Renta del 5,8%	Un cobro que depende del precio pagado a SQM o sus partes relacionadas con cargos marginales que van desde un 6,8% del precio hasta un 40% para precios sobre USD 10 mil, que son los más alto a nivel mundial.
Incentivo al valor agregado	No existía	SQM se obliga a vender hasta un 25% de la capacidad de producción teórica de productos de litio, a un precio preferente, a productores especializados que se establezcan en Chile para fabricar productos con valor agregado.
Aportes para I+D	No existían	Compromiso de aportes a distintos institutos por USD 18 mn al año, mientras dure el contrato.
Control	No había regulación	Dos auditores externos hasta el 2030 que reportarán sobre el cumplimiento de las obligaciones ambientales de SQM y de los contratos de proyecto y de arrendamiento
Ganancias para la comunidad	No existían	Compromiso de aportar 1,7% de las ventas para obras municipales e inversión pública. Aporte adicional para el desarrollo de las comunidades.

Fuente: CORFO (2018a).

Adicionalmente, el informe señalaba la necesidad de que, para mejorar la competitividad de la cadena, se debían promover procesos de agregación local de valor tanto en las etapas aguas arriba como aguas abajo. En este sentido, se presentaban las siguientes alternativas de industrialización:

- Aumentar la producción del hidróxido de litio monohidratado grado batería, cuya demanda, como hemos discutido, está creciendo en forma significativa en la fabricación de cátodos para baterías secundarias. De acuerdo con el documento que venimos comentando, con el objeto de que la oferta de hidróxido de litio chileno sea más competitiva, debe estudiarse su posibilidad de obtención a partir de sulfato de litio en lugar del carbonato de litio, que utiliza una materia prima importada en su fabricación (ceniza de soda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). SQM está investigando el proceso de utilización de las sales de sulfato de litio.
- Desarrollar el nitrato de litio como componente de sales fundidas para el almacenamiento térmico en plantas de concentración solar de potencia. En esta misma área, se señalaba la posibilidad de vincular la cadena del litio con el desarrollo de la industria solar en Chile a partir del privilegio de contar con uno de los índices de radiación solar más altos del mundo. En este sentido, el documento afirmaba que se abrían oportunidades en el almacenamiento de energía por plantas fotovoltaicas y, posteriormen-

te, para baterías y sales fundidas para plantas de concentración solar. Para ello, se proponía la realización de estudios que permitieran dimensionar las relaciones entre el mercado de la energía solar y el del litio, así como identificar oportunidades para agregar valor a través de proyectos de innovación y formación de capacidades diseñados en conjunto con la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) y CORFO.

En cuanto a la I+D aplicada a la cadena del litio, dentro de las áreas de trabajo identificadas por la Comisión se incluyen: el desarrollo de procesos productivos de carbonato de litio para la producción de baterías y sales acumuladoras de energía, tanto para la propulsión de vehículos como para la acumulación de energía en plantas de energías renovables; la generación de tritio para aplicaciones de energía nuclear; las aleaciones litio-aluminio y litio-magnesio para la producción de materiales livianos de alta resistencia; los usos en la industria farmacéutica y las posibles sinergias con la nanotecnología, entre otras. Asimismo, se proponía la conformación de un clúster sectorial que permita fortalecer a los centros de investigación asociados a universidades y/o a la industria, así como promover asociaciones público-privadas orientadas a generar nuevos conocimientos y tecnologías. En este contexto, se desarrolló un plan para crear un Instituto Solar Minero en Antofagasta, financiado con los ya mencionados aportes para I+D que deben hacer las empresas que explotan litio en Chile<sup>106</sup>.

Finalmente, como se señaló más arriba, en las renegociaciones de contratos con SQM y Albemarle se estableció que ambas empresas deban vender “hasta un 25% del total de su capacidad de producción teórica de productos de litio a un precio preferente, a productores especializados, públicos o privados, situados o que se establezcan en Chile y a fin de que éstos elaboren productos con valor agregado, entre otros cátodos de litio o componentes de éstos, componentes de baterías de litio y/o sales de litio” CORFO (2018b), p. 5.

En base a esta disposición CORFO realizó una convocatoria a la cual se presentaron 12 proyectos para aprovechar las cuotas preferenciales de litio arriba mencionadas, de los cuales 7 fueron pre-seleccionados para una segunda etapa de evaluación (Cuadro 13). La convocatoria fue gestionada de manera conjunta con la agencia de inversión InvestChile. La inversión total de las tres empresas que han sido finalmente seleccionadas se estima en USD 754 mn y se generarán alrededor de 650 empleos calificados, de acuerdo a CORFO.



<sup>106</sup> Si bien el instituto debía estar en funcionamiento en 2017, su apertura aún no fue concretada.



**Cuadro 13. Proyectos presentados para el desarrollo de productos basados en litio en Chile**

Empresa	País de origen	Producto a ser desarrollado en Chile	Estado
TVEL Fuel Company of Rosatom	Rusia	Litio Metálico; Material activo para baterías de Ion Litio: LFP, LCO, NMC, NCA, LTO	Pre-seleccionado
Sichuan Fulin Industrial Group Co. Ltd.	China	Material de cátodo del tipo LFP, NMC, LMO, y LTO	Aprobado Producción estimada: 20.000 tn por año
Jiangmen Kanhoo Industry Co. Ltd.	China	Material de cátodo del tipo LMO	Pre-seleccionado
Molymet	Chile	Material de cátodo del tipo LMO y LFP	Aprobado. Producción estimada: 19.000 tn por año
Gansu Daxiang Energy Technology Co Ltd.	China	Material de cátodo del tipo LMO, NMC y LFP	Pre-seleccionado
UMICORE	Bélgica	Material activo de cátodos de litio basado en la patente de NMC	Pre-seleccionado
SAMSUNG SDI Co. Ltd.	Corea	Material activo de cátodo del tipo NMC; Material activo de cátodo del tipo NCA	Aprobado. Producción estimada: 19.000 tn por año

Fuente: CORFO.

## 5.2 Bolivia

Como se ha mencionado, Bolivia es uno de los países con mayores reservas potenciales de litio en el mundo. La historia de los intentos de explotación de esta riqueza natural se remonta a las investigaciones realizadas desde los años setenta por el Departamento de Geociencias de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) y la Office de la Recherche Scientifique Technique Outre Mer (ORSTOM) y las llevadas adelante por la Universidad Tomás Frías de Potosí (UATF), en coordinación con la Universidad de Freiberg de Alemania, cuyos investigadores, ya desde los años '60s, desarrollaban trabajos sobre el origen, contenido y estructura de sales y salmueras del Salar de Uyuni. Las investigaciones de UMSA-ORSTOM concluyeron en 1983, señalando la presencia de grandes recursos evaporíticos de litio, potasio, boro y magnesio (Daza, 2017; Plataforma Energética, 2014).

Luego de algunos intentos fallidos de atraer inversiones privadas en las décadas del '80 y '90, a partir de la primera década del nuevo siglo se dan los primeros pasos firmes para explotar de manera efectiva los recursos de litio disponibles en el país (ver en Anexo V un racconto de los principales hitos históricos en el sector de litio en Bolivia). En octubre de 2008, se creó el primer laboratorio de salmueras en instalaciones del Instituto de Investigaciones en Metalurgia y Materiales de la UMSA, con el objeto de realizar análisis químicos de muestras provenientes de perforaciones iniciadas en el Salar de Uyuni y se construyeron las primeras pequeñas piscinas de evaporación experimentales. En 2009, comenzó la construcción de una planta piloto en Llipi. Estos años fueron entonces importantes en tanto se avanzó en la investigación orientada al estudio geoquímico del salar y al desarrollo de procesos en etapa de laboratorio y en el diseño y dimensionamiento de equipos a escala piloto.

En 2010 se adoptó un plan denominado Estrategia Nacional de Industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia, que contemplaba desarrollar actividades de investigación, pilotaje y producción industrial de litio, potasio, materiales catódicos y baterías eléctricas de ion-litio. La ejecución de este plan fue encomendada a la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE), en ese momento dependiente de la Corporación Minera de Bolivia (CO-MIBOL)<sup>107</sup>. La estrategia de implementación del proyecto se efectuaría en tres fases:

- La primera tenía el propósito de alcanzar, hacia finales de 2011, la producción de 40 tn mensuales de carbonato de litio y 1.000 tn mensuales de cloruro de potasio en dos plantas piloto (la inversión estimada se situaba en torno a los USD 16 mn).
- La segunda consistía en el diseño y construcción de las plantas industriales para estos mismos productos, bajo la conducción, la administración, el financiamiento, la operación y la comercialización del Estado boliviano (USD 485 mn de inversión estimada), a través de créditos otorgados por el Banco Central de Bolivia (BCB).

La tercera fase correspondía a la producción de materiales catódicos y baterías de litio (aproximadamente USD 400 mn de inversión) y contemplaba la participación de empresas extranjeras que aportaran tecnología.

En relación a la primera fase, durante 2011 se concluyeron los diseños de ingeniería de los equipos e instalaciones de las plantas piloto en Llipi. El montaje de la planta piloto de carbonato de litio se inició en julio de 2012 y la misma fue finalmente inaugurada en enero de 2013<sup>108</sup>. Ésta logró obtener en 2015 carbonato de litio en grado batería con una pureza del 99,6%. En agosto de 2016 la GNRE concretó dos contratos de venta de carbonato de litio para su exportación con destino a China. Según información periodística, para abril de 2017



<sup>107</sup> La GRNE fue sustituida en 2017 por la Empresa Pública Nacional Estratégica de YLB, dependiente del Viceministerio de Altas Tecnologías Energéticas del Ministerio de Energías (también creado en 2017). YLB es responsable de realizar las actividades de toda de la cadena productiva: prospección, exploración, explotación, beneficio o concentración, instalación, implementación, puesta en marcha, operación y administración de recursos evaporíticos, complejos de química inorgánica, industrialización y comercialización.

<sup>108</sup> La planta piloto de cloruro de potasio se inauguró en agosto de 2012.

esta planta producía alrededor de 5 tn de carbonato de litio por mes y se planteaba el objetivo de alcanzar las 10 tn mensuales<sup>109</sup>.

La segunda fase involucra el diseño y construcción de la infraestructura y el equipamiento necesarios para producir 30.000 tn anuales de carbonato de litio y 700.000 tn anuales de cloruro de potasio. Según la memoria de YLB, en 2017 se concluyó la ingeniería del diseño final para la construcción, montaje y puesta en marcha de la planta industrial de carbonato de litio –a cargo de la empresa alemana K-Utec Technologies–, y se inició el proceso para la selección y contratación de la empresa que se hará cargo de su ejecución. De acuerdo a fuentes periodísticas, YLB informó que el inicio de la construcción de la planta está previsto para junio de 2018, a cargo de un consorcio liderado por la empresa china Maison Engineering<sup>110</sup>. En tanto, en diciembre del 2017 culminó la construcción y montaje de la planta industrial de sales de potasio, a cargo de la empresa China CAMC Engineering, con una capacidad de producción de 350 mil tn/año, habiendo ya iniciado las primeras pruebas de funcionamiento en vacío. Se esperaba que esta planta comenzara sus operaciones en agosto de 2018, pero no hemos podido confirmar su inauguración al momento de cerrar este informe.

La tercera fase tiene como eje al Centro de Investigación, Desarrollo y Pilotaje (CIDYP), que es la institución que reúne a las unidades que despliegan tareas de investigación y a nivel piloto relacionadas a la industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia. En este marco, se encarga de supervisar, gestionar y coordinar proyectos referidos a baterías de litio, materiales activos (cátodos), electrolitos de litio y otros productos avanzados. El CIDYP está compuesto por la planta piloto de baterías, la planta piloto de materiales catódicos y el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Materiales y Recursos Evaporíticos de Bolivia (CICYT MAT-REB).

En cuanto a la planta piloto de baterías, en abril de 2012 se concretó un contrato con la empresa china Linyi Dake Trade Co. Ltd. para la compra “llave en mano” de la misma, por un monto de USD 2,7 mn. La misma fue inaugurada en 2014 y es operada exclusivamente por profesionales bolivianos. Según la memoria de YLB de 2017, esta planta viene desarrollando diferentes actividades enmarcadas en la optimización del proceso de ensamblado de baterías de alta capacidad. Actualmente, es capaz de elaborar dos tipos de baterías de celdas prismáticas: i) LCO, formato 403650 y capacidad 0.8 Ah; y ii) LFP, formato 1865130 y capacidad 10 Ah.

Respecto de la planta piloto de materiales catódicos, la misma se inauguró en agosto de 2017 y fue adquirida mediante la modalidad “llave en mano” a la empresa francesa ECM Gre-enTech en noviembre de 2015. En esta planta se sintetizan dos tipos de materiales activos



<sup>109</sup> Fuente: <http://www.paginasiete.bo/economia/2017/4/10/empresas-quieren-construir-planta-carbonato-litio-133735.html>.


<sup>110</sup> Fuente: <http://www.americaeconomica.com/bolivia/25855/maison-china-planta-litio-salar-uyuni>

o materiales catódicos: i) una línea de producción de LMO, con una capacidad mínima de 1,2 kg cada 100 horas continuas; y ii) una línea de producción de NMC con una capacidad mínima de 1 kg cada 100 horas continuas. La planta piloto de materiales catódicos ya comenzó a hacer entregas materiales catódicos activos NMC y LMO a la planta piloto de baterías, sintetizados a partir del carbonato de litio boliviano de la planta piloto de Llipi.

En cuanto al CICYT MAT-REB, el cual se orienta a realizar investigaciones sobre el desarrollo de materiales de cátodo a partir del carbonato de litio producido en la planta de Llipi, en octubre de 2016 se firmó un contrato con la empresa colombiana Solar Data Lab para el diseño final del centro. En septiembre de 2017 se efectuó la primera convocatoria pública para la construcción de dicho laboratorio y en diciembre del mismo año la segunda.

Finalmente, en abril de 2018 se cerró un proceso licitatorio por el cual se adjudicó a una empresa alemana, ACI Systems GmbH, la construcción, montaje y puesta en marcha de cuatro plantas para fabricar hidróxido de litio, materiales catódicos, baterías e hidróxido de magnesio respectivamente. Todo el proyecto involucraría inversiones por más de USD 1.300 mn, aportados por el Estado boliviano y la empresa adjudicataria<sup>111</sup>. En el caso de las baterías, el propósito es exportar a Europa para uso principalmente del sector automotriz. Asimismo, se prevé convertir a YLF en una empresa corporativa de modo de poder formalizar la alianza con ACI Systems (donde el Estado tendría 51% y la empresa alemana el 49% restante)<sup>112</sup> y se prevé que la nueva entidad pueda incluso abrir oficinas y filiales en el exterior<sup>113</sup>.

Queda claro que, como se ha visto, los plazos originalmente establecidos para las sucesivas fases de la estrategia nacional de industrialización de los recursos evaporíticos de Bolivia no se han cumplido. Es posible que esto se deba a una combinación de insuficiencia de recursos financieros y las propias dificultades para gestionar un plan ambicioso en cuanto a la autonomía productiva y tecnológica, en un país que dispone de limitadas capacidades en esos ámbitos. En relación con este último tema, si bien se preveía que la participación de empresas internacionales se limitara a la provisión de la tecnología necesaria en la etapa de fabricación de baterías de litio, el gobierno ha accedido a la contratación de diversas empresas, principalmente de origen chino, para la construcción llave en mano de las plantas, tanto piloto como de escala industrial. Resta ver cómo se desarrollarán los proyectos en marcha, que son indudablemente los más desafiantes, tanto tecnológicamente como desde el punto de vista productivo y comercial.

<sup>111</sup>  <http://lavozdetarija.com/2018/04/23/sociedad-con-la-alemana-aci-systems-establece-inversion-de-us-1-328-millones-para-industrializar-el-litio/>

<sup>112</sup> [http://www.la-razon.com/economia/YLB-proyecto-decreto-empresa-corporativa\\_0\\_2934306592.html](http://www.la-razon.com/economia/YLB-proyecto-decreto-empresa-corporativa_0_2934306592.html)

<sup>113</sup> <http://cambio.bo/?q=node/44407>

### 5.3.Unión Europea

En el campo específico de las baterías y sus componentes, la Unión Europea (UE) cuenta con sistemas de innovación consolidados, que han comprometido un elevado monto de recursos para desarrollar tecnologías más eficientes, en particular, en el campo de la movilidad. En los últimos años, la región se ha propuesto revertir, o al menos amortiguar, el dominio de Asia en la industria de celdas de baterías. Con este propósito busca avanzar tanto en el desarrollo de tecnologías disruptivas como en la transferencia de competencias al sector productivo –que tiene en Europa una base extendida en el sector de baterías tradicionales.

En el marco del programa de trabajo de la UE, se han identificado cinco temas principales:


- Materiales avanzados para baterías;
- Producción eco-eficiente;
- Desarrollo de baterías con capacidad para carga rápida;
- Reutilización de baterías eléctricas;
- Reciclaje de alta rentabilidad.

La estrategia fija objetivos para el año 2030 en términos de: desempeño (densidad de energía gravimétrica y volumétrica; densidad de poder gravimétrico y volumétrico; vida útil de la batería); costos y producción (volumen, reciclado, reutilización).

En el diseño del plan trabajaron más de 40 expertos<sup>114</sup> que han definido un esquema de implementación que fija las actividades mínimas que serían necesarias para alcanzar las metas acordadas. Este plan representa un insumo para la elaboración de una hoja de ruta para futuras inversiones en tecnología de baterías bajo el auspicio de la *European Battery Alliance*. Por su parte, la construcción de plantas piloto para el desarrollo de nuevas tecnologías en celdas cuenta con financiamiento de InnovFin, la línea del Banco Europeo de Inversiones (BEI) para iniciativas innovadoras.

La *European Battery Alliance* se lanzó el 11 de octubre de 2017 en Bruselas. Participan de ella la Comisión Europea, los Estados miembro de la UE que han demostrado interés, el BEI, empresas relevantes de la industria y actores del sistema de innovación. La alianza creó diferentes grupos de trabajo en temas que van desde la cadena de valor, el financiamiento de inversiones y comercio, hasta las actividades de I+D. La propuesta apunta a crear una cadena de valor en la fabricación de baterías con el núcleo de la estrategia en la fabricación de celdas de baterías, en la cual Europa no posee actores clave. Para cubrir la demanda eu-

---

 **114** La lista de participantes del grupo de trabajo temporario –del que participaron miembros de Lithops–, puede consultarse en [https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/20171113\\_twgcomposition\\_batteries\\_0.pdf](https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/20171113_twgcomposition_batteries_0.pdf)


ropea se requerirían entre 10 y 20 instalaciones de producción de celdas de baterías a gran escala (*gigafactories*).

La alianza cuenta con un plan estratégico que incluye:

- Garantizar el acceso a las materias primas que se encuentran fuera de la UE, a aquellas de origen europeo y a las que resultan del reciclado de baterías.
- Apoyar en Europa la fabricación a escala de celdas de batería y la conformación de la cadena de valor completa. Para esto, la alianza reúne a los principales actores de la industria y a las autoridades nacionales para trabajar en asociación con los países de la UE y el BEI para apoyar proyectos transfronterizos de fabricación a escala.
- Fortalecer el liderazgo industrial a través de la aceleración de la investigación y el apoyo a la innovación tanto en tecnologías más maduras (por ejemplo, ion-litio) como disruptivas (por ejemplo, baterías de estado sólido).
- Desarrollar y fortalecer el trabajo altamente calificado a lo largo de toda la cadena de valor para cerrar la brecha de capacidades. Aquí se incluye proporcionar una formación adecuada tanto a nivel de la UE como a nivel país, reentrenar y mejorar el nivel de calificación de la fuerza de trabajo y hacer de Europa una locación atractiva para expertos a nivel mundial.
- Apoyar que la fabricación de baterías en la UE tenga el menor impacto ambiental posible, estableciendo requisitos para una producción segura y sostenible en el continente.
- Garantizar la coherencia de las actividades con el marco regulatorio y habilitante más amplio de la UE (“Estrategia de Energía Limpia y Paquetes de Movilidad”, política comercial, etc.)

Para cada una de estas líneas estratégicas se han definido acciones concretas contenidas en un comunicado<sup>115</sup> de la Comisión Europea, publicado en mayo de 2018. Entonces, la alianza contaba con 120 actores industriales y de innovación activos que han respaldado las recomendaciones de acciones prioritarias dirigidas por EIT InnoEnergy, en asociación con países de la UE y el BEI.

InnoEnergy es una asociación público-privada que fue designada en 2019, tras competencia pública, por la junta de gobierno del Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT, por sus siglas en inglés) como KIC (*Knowledge and Innovation Community*) en el área de

 <sup>115</sup> Anexo II de la Communication from the commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions disponible en: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_3&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:0e8b694e-59b5-11e8-ab41-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_3&format=PDF)

energía sustentable<sup>116</sup>. Apoyada por el EIT, InnoEnergy se dedica a promover la innovación, el emprendedorismo y la educación en el campo de la energía sostenible, reuniendo al sector privado, académicos e institutos de investigación. Por su experiencia en el campo de innovación en baterías y almacenamiento, se le pidió a EIT InnoEnergy que organizara<sup>117</sup> dos reuniones, en diciembre de 2017 y en enero de 2018, donde se establecieron 49 acciones necesarias para que la *European Battery Alliance* pueda direccionar a la UE hacia su conversión en un actor clave del mercado global de baterías. De estas acciones, 21 de ellas se han identificado como de alta prioridad<sup>118</sup>. A su vez, en la presentación del plan de acción por parte de EIT InnoEnergy en febrero de 2018 se dio a conocer el mapeo de actores europeos en cada uno de los eslabones de la cadena de valor de baterías, desde las materias primas hasta el reciclado.

**Cuadro 14. Actores europeos en la cadena de valor de baterías**

Materias Primas	Materiales Activos	Celdas de Baterías y Battery Packs		Aplicaciones		
				<i>E-mobility</i>	ESS Aplicaciones Industriales	Reciclado / 2da vida
EIT Raw Materials	Nanomakers	EAS Batteries	Akasol	VOLKSWAGEN	ENEL	Umicore
Eramet	NXP Semiconductors	Saft	E4V	FIAT	TERNA	Veolia
Outotec	BASF	Varta	Continental	RENAULT	EDF	Solvay
EUROMINES	Arkema	Leclanché	LION E-Mobility	BMW	Atlas Copco	EBRA
Leading Edge Materials	Blue Solutions (Bolloré)	Litarion GmbH	BMZ - Batteriemontagezentrum	Jaguar Landrover	cyberGRID GmbH	SUEZ
Boliden	SGL Carbon SE	Terra E	Sonnen GmbH	PSA Groupe	Manz	
Terrafame	BELENOS	Liacon	EoCell Inc	NISSAN (FR)	Elring-Klinger	
Rio Tinto	CEFIC	Northvolt	HE3DA	VOLVO	Stihl	
Magnis / Allocate	Heraeus Nanomakers	CustomCells KLIB		Husqvarna Daimler	Vattenfall Total	
Investigación y asociaciones activas en toda la cadena de valor	Fraunhofer	CEA	ENEA	T&E	EUROBAT	CEPS
	EMIRI	ANIE	RECHARGE	SET PLAN TWG7		
	EASE	Ångström Advanced Battery Center		Akkurate OY		

Fuente: en base a presentación de Maroš Šefčovič (vicepresidente de la Comisión Europea) del 28 de Febrero de 2018, Bruselas<sup>119</sup>.

El primer paso hacia el establecimiento de una cadena de valor europea para la construcción a gran escala de baterías de ion-litio<sup>120</sup> se dio a partir de que el BEI aprobó un préstamo para la construcción y operación de una planta piloto de fabricación de dicho tipo de baterías en Västerås (Suecia). Dicho préstamo, de hasta EUR 52,5 mn, de tiene como beneficiario a Northvolt AB y es instrumentado por medio de InnovFin en el marco de “*Energy Demo Projects*”



<sup>116</sup> Para más información sobre KICs ver: <https://eit.europa.eu/what-are-kics-how-do-they-work-where-can-i-find-information-about-kic-model>

<sup>117</sup> Para más información sobre el rol de InnoEnergy en la European Battery Alliance ver: <http://www.innoenergy.com/eit-innoenergys-role-within-the-european-battery-alliance/>


<sup>118</sup> Ver documento disponible en: [http://www.innoenergy.com/wp-content/uploads/2018/05/All-actions\\_version-March-2018-2.pdf](http://www.innoenergy.com/wp-content/uploads/2018/05/All-actions_version-March-2018-2.pdf)

<sup>119</sup> Disponible en: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_SPEECH-18-1168\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_SPEECH-18-1168_en.htm)

<sup>120</sup> <https://northvolt.com/about/>

(EDP)<sup>121</sup>. Se proyecta que la planta de Northvolt AB estaría finalizada en 2019, con una capacidad de 1.25 mWh anuales. El objetivo será desarrollar, probar e industrializar celdas de baterías antes de escalar la producción. El paso siguiente será la construcción de una planta de gran escala de Northvolt AB en Skellefteå (Suecia), para la fabricación de celdas de baterías con una capacidad planeada de 32 GWh para 2023. A su vez, Northvolt se ha asociado estratégicamente con socios industriales como la suiza ABB, la danesa Vestas, y la sueca Scania. La compañía también ha anunciado su asociación con la japonesa SECI, un productor de equipamiento para la fabricación de baterías.

En cuanto a la provisión de la materia prima, Northvolt AB llegó a un acuerdo con Nemaska Lithium, la cual planea dar inicio a su planta de hidróxido de litio en Sawinigan, Quebec, Canadá. Según este trato, una vez que ambas plantas estén operativas, Nemaska Lithium proveerá a Northvolt AB de hasta 5.000 (y no menos de 3.500) tn de hidróxido de litio de grado batería por un período de 5 años<sup>122</sup>.

  
**121** InnovFin es una línea de instrumentos de financieros, desde garantías hasta préstamos directos, y servicios de asesoramiento lanzada por la Comisión Europea y el BEI para facilitar el acceso al financiamiento de firmas innovativas. Por su parte EDP ofrece préstamos, garantías de préstamos o financiación de entre EUR 7,5 y 75 millones para proyectos innovadores en los campos de sistemas de transformación energética, incluyendo a tecnologías de energía renovable, sistemas inteligentes de energía, y almacenamiento de energía, entre otros.

**122** Para más información ver: <http://www.greencarcongress.com/2018/04/20180427-northvolt.html>






## 6

## ANÁLISIS DE LAS OPORTUNIDADES Y OBSTÁCULOS PARA EL DESARROLLO DE ESLABONAMIENTOS

A lo largo del estudio se han presentado las principales iniciativas para la construcción de eslabonamientos en torno al litio con potencial para generar capacidades e impactos benéficos para la Argentina y, en particular, para las provincias en donde se localizan las reservas respectivas. En base al enfoque sobre eslabonamientos discutido en la Sección 1.2, y considerando las características de las cadenas globales de valor relevantes en cada caso, se analizarán aquí las oportunidades y obstáculos que presenta estas distintas iniciativas.

En el Cuadro 15 se clasifican los proyectos relevados de acuerdo al tipo de eslabonamiento productivo<sup>123</sup> al que darían lugar –es decir, “hacia adelante” (o, como se ha denominado en este trabajo, “aguas arriba”) o “hacia atrás” (“aguas abajo”). Como podrá verse, no se han incluido eslabonamientos horizontales (o laterales), ya que, en general, solo es posible observar el salto hacia otros sectores una vez que se han consolidado las capacidades en áreas directamente vinculadas al recurso. Aunque es difícil predecir qué tipos de eslabonamientos horizontales podrían desarrollarse, se puede afirmar que distintos factores aumentan las posibilidades de que ocurran, por ejemplo, la existencia de un sistema de innovación dinámico, una estructura productiva que incluya sectores productivos con demandas de conocimiento y firmas que lleven adelante proyectos de I+D y otras actividades de búsqueda y absorción de conocimiento.

  
<sup>123</sup> Los proyectos identificados se orientan en su totalidad al desarrollo de eslabonamientos productivos. No se han identificado eslabonamientos fiscales o de consumo.

**Cuadro 15. Principales iniciativas relevadas relacionadas con litio**

AGUAS ARRIBA (hacia atrás)	AGUAS ABAJO (hacia adelante)				
Extracción y procesamiento	Derivados de litio	Baterías			
		Material activo	Celdas y sus componentes	Battery pack	Reciclado de baterías
1.Explotación sustentable de los salares	7.Desarrollo de procesos para producción de hidróxido de litio;  8. Desarrollo de procesos para producción de litio metálico;  9. Desarrollo de procesos para separación isotópica de litio 6 y litio 7.	10.Desarrollo y fabricación de material activo	11.Fabricación de celdas	12. Ensamblado y fabricación de baterías	14. Desarrollo de procesos para el reciclado de baterías
2. Mejora en la eficiencia de métodos evaporíticos					
3. Desarrollo de métodos no evaporíticos para operaciones en salmueras		13. Investigación y desarrollo en baterías y sus componentes			
4. Explotación integral de salares					
5.Eslabonamientos productivos en torno a operaciones en salares					
6.Desarrollo de procesos para la explotación de yacimientos de litio en pegmatitas.					

Fuente: elaboración propia en base a trabajo de campo.


Entre los proyectos analizados puede observarse que, tanto aguas arriba como aguas abajo, la mayor parte se concentra “en torno” al litio, es decir, tiene un vínculo directo con el recurso. Estas iniciativas pertenecen, principalmente, al CIDMEJU (y sus colaboradores) y a la red de investigadores liderada por FAMAF e INIFTA. Más allá de la amplitud y profundidad de los eslabonamientos que puedan alcanzarse, esto conlleva ciertas ventajas respecto a iniciativas más “distantes” del recurso, que se desarrollan en extremos de la cadena de valor. En primer lugar, otorga a las autoridades encargadas del diseño de las estrategias de intervención una mayor capacidad para alinear los intereses y las acciones de los actores involucrados, puesto que tienen competencias normativas directas sobre el recurso. En segundo lugar, las iniciativas se articulan en torno a tecnologías que son familiares para los actores que operan sobre el recurso y sobre las cuales se han acumulado ya capacidades. La elección de proyectos con vínculo directo al litio permitiría construir un sendero evolutivo, en base a la acumulación incremental de capacidades, que habilitaría luego la expansión hacia otros sectores así como la posibilidad de escalar posiciones dentro de la misma ca-

dena del litio<sup>124</sup>.

Por su parte, las iniciativas vinculadas a la batería, mayormente promovidas por instancias de gobierno –y de las que participan también las redes de investigadores identificadas aquí–, son aquellas que han recibido más impulso político y cuentan con mayor apoyo presupuestario. Ello no es de extrañar, puesto que, como se ha discutido, son las iniciativas de eslabonamientos productivos aguas abajo aquellas generalmente privilegiadas por los responsables de la política pública. A pesar del atractivo que presenta, por ejemplo, la posibilidad de fabricar localmente la batería y sus componentes, no se pueden dejar de señalar desafíos importantes que tienen origen en la gran “distancia” que separa al recurso del producto que se pretende desarrollar o producir –distancia que, por supuesto, aumenta a medida que avanzamos en la cadena de valor. Esta distancia tiene múltiples dimensiones: i) una distancia “material”, ya que el litio representa entre un 4% y un 10% de la batería, y la provisión del resto de los componentes debería cubrirse mediante importaciones o desarrollarse localmente (algo imposible en muchos casos ya que no existen los recursos naturales en el país); ii) una distancia “tecnológica”, porque la fabricación de las baterías y sus componentes supone una cantidad de desarrollos que exceden el tratamiento del litio, en los que, además, se debe recorrer un largo sendero de aprendizaje; iii) una distancia “competitiva”, que se observa en mercados altamente complejos y dinámicos, dominados por empresas mayormente asiáticas, en las que ni siquiera las empresas estadounidenses y europeas han logrado ingresar con fuerza; y iv) una distancia “operativa”, porque la gestión de emprendimientos productivos de estas características involucra dimensiones que no están vinculadas con las ventajas que ofrece el recurso.

En general, los factores intrínsecos que promueven la localización de eslabonamientos resultan favorables a la promoción de proyectos aguas arriba. Entre estos factores se destacan las especificidades que presentan los depósitos de litio que, como se ha discutido, exigen esfuerzos locales de investigación, por ejemplo, para mejorar el conocimiento de la hidrogeología y de los recursos que contienen los salares, así como el desarrollo de métodos más eficientes para su extracción. Asimismo, la intención de realizar una explotación más eficiente y sustentable del recurso abre lugar a la búsqueda de mejores procesos de extracción, tanto dentro de las actuales tecnologías evaporíticas, como a partir de innovaciones disruptivas mediante técnicas no evaporíticas.

En el caso de los eslabonamientos aguas abajo la presión de los factores intrínsecos para la localización de procesos resulta menor, puesto que no se registran exigencias significativas ligadas a la eficiencia productiva –más allá del procesamiento *in situ* del carbona-

  
<sup>124</sup> Esta visión del desarrollo, basada en la construcción progresiva de eslabonamientos productivos, fue caracterizada por Hirschman (1977) con la expresión “una cosa lleva a la otra” (one thing leads to another).

to o cloruro de litio- ni especificidades que deban ser atendidas mediante el agregado de valor local. En cambio, en este caso, prevalecen los factores contextuales, provenientes, principalmente de políticas sectoriales específicas que tienen como objetivo avanzar en la industrialización local. Estos factores se articulan con intereses que provienen del sistema de innovación nacional, ya que refuerzan una agenda de investigación con la que ciertos actores del sistema científico y tecnológico venían trabajando aun antes de la puesta en marcha de las políticas específicas.

En el Cuadro 16 se presenta una síntesis de los proyectos, identificando sus objetivos, actores involucrados y los obstáculos que enfrentan. Del mismo emergen algunas asimetrías de intereses y objetivos de los actores involucrados. Aquellos de carácter privado tienen menor interés por la agenda de investigación de los actores del sistema de CyT. Los geólogos entrevistados que se desempeñan en el ámbito universitario, sostuvieron que las empresas que han sido beneficiadas con la concesión para la operación de salares en la región son reacias a darles acceso para realizar investigaciones hidrogeológicas -y cuando lo hacen, afirman, controlan y restringen el diseño de las mismas. De igual modo, las empresas tienen pocos incentivos para colaborar en el desarrollo de métodos no evaporíticos de extracción y procesamiento, puesto que ya han hundido capital en las instalaciones que tienen en uso. Asimismo, por su naturaleza transnacional, tienen preferencia por realizar al interior de la corporación el estudio y desarrollo de soluciones vinculadas a los procesos de producción de los bienes relacionados con el litio.

En tanto, la situación del CIDMEJU -como se discutirá con mayor detalle más adelante- refleja las dificultades para formular una agenda consistente en torno al sector. La ausencia de un presupuesto estable -en gran medida vinculada al estado actual de la estructura organizativa del instituto- se identifica como uno de los obstáculos más significativos para el desarrollo de los proyectos.

Asimismo, se destacan los obstáculos estructurales que impone el funcionamiento de las cadenas globales de valor dentro de las cuales el litio es un elemento destacado. Esto es particularmente visible en el caso de los mercados de baterías, donde los niveles de competencia y jerarquía entre los participantes de la cadena imponen restricciones para el ingreso de actores más pequeños, que operan lejos de los principales mercados y son tecnológicamente más retrasados. Pero también en la fase de extracción y procesamiento las asimetrías son notorias, por ejemplo, en el vínculo entre empresas transnacionales del sector minero y el entorno productivo local, lo que repercute negativamente en la posibilidad de promover eslabonamientos.

Área de intervención	Proyecto-Objetivos	Actores locales participantes	Obstáculos identificados
<b>AGUAS ARRIBA</b>			
Explotación sustentable de los salares	Mejorar la cuantificación de recursos y conocimiento sobre la composición de los salares.  Mejorar el conocimiento sobre la hidrogeología de los salares y los factores que gobiernan su dinámica. Objetivos: i) conocer mejor las modalidades y los tiempos de recarga de la salmuera; y ii) conocer mejor el origen de los salares.	Mesa del litio de los salares (COFEMIN)/ Autoridades de aplicación provinciales SEGEMAR Instituto de Geología y Minería (UNJU) CIDMEJU Servicios geológicos de China y Estados Unidos	Dificultades para acceder a salares por parte de investigadores de organizaciones públicas y universidades. Presupuesto limitado. Limitada articulación con equipos de CyT.
Mejora en la eficiencia de métodos evaporíticos	Utilización de membranas sobre piletas de evaporación. Objetivos: i) recuperar agua para actividades de riego; y ii) reducir dependencia de condiciones climáticas.  Producción de biogás a partir de aguas negras de campamentos mineros. Objetivos: i) mejorar la gestión ambiental de campamentos; y ii) sustituir insumos traídos desde el llano.	CIDMEJU Universidad Nacional de Salta Sales de Jujuy  INTI (Palpalá) CIDMEJU	Presupuesto limitado. Limitada cooperación con empresas concesionarias.  Falta de incentivos para que las empresas modifiquen el tratamiento de aguas negras. Presupuesto limitado para actividades de desarrollo. Dificultades técnicas.
Desarrollo de métodos no evaporíticos para operaciones en salmueras	Método de recuperación electroquímico en un medio acuoso. Objetivos: i) reducir el tiempo para la obtención de cloruro de litio a unas pocas horas; y ii) reducir el consumo de agua durante el proceso.	Ernesto Calvo (INQUIMAE-UBA) CIDMEJU Y-TEC Clorar	Dificultades técnicas. Dificultad para recaudar fondos para construcción de planta piloto. Poco interés de empresas instaladas en la adopción de métodos alternativos. Conflicto por derechos de comercialización Métodos alternativos en estado más avanzado.
Explotación integral de salares	Desarrollo de procesos para realizar una explotación viable en términos económicos de otros recursos presentes en los salares (por ejemplo, hidróxido de magnesio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio).  Estudio integral de la composición química de las salmueras.	Daniel Galli (UNJU)/CIDMEJU INTI (Palpalá) SEGEMAR	Poco interés por parte de las empresas para explotar recursos considerados de poco interés de negocios. Escasa capacidad de regulación de las actividades de las empresas. Presupuesto limitado para actividades de desarrollo. Poca información para identificar y cuantificar recursos en salares.
Eslabonamientos productivos en torno a operaciones en salares	Generar eslabonamientos en operaciones ligadas a la explotación de salares. Objetivos: i) mejorar capacidades de actores locales para aumentar su participación en la provisión de servicios de ingeniería y consultoría intensiva en conocimiento; y ii) mejorar capacidades de comunidades locales para proveer servicios de calidad a las empresas que operan en los salares (por ejemplo, transporte y logística, reparación de planta e infraestructura, alimentación, lavandería y limpieza, pequeñas obras de mantenimiento, etc.).	CIDMEJU INTI (Palpalá) Clorar Sistema científico y tecnológico (Secretarías provinciales de Ciencia y Técnica; universidades y centros de formación, CONICET).	Baja tasa de retención del sistema educativo en áreas relacionadas (especialmente en provincias donde se encuentran los salares). Preferencia de empresas que operan en salares por realizar tareas de desarrollo internamente. Asimetría entre empresas transnacionales y comunidades locales. Bajas capacidades técnicas y de gestión empresarial en comunidades locales. Presupuesto limitado para actividades de formación.
Desarrollo de procesos para la explotación de yacimientos de litio en pegmatitas	Testear a escala piloto el proceso desarrollado para obtener litio a partir de pegmatitas, caracterizado por su bajo consumo de energía y su capacidad para recuperar otros elementos presentes en la roca.	Universidad Nacional de Cuyo CONICET Latin Resources	La exploración de yacimientos de pegmatitas se encuentra en estado inicial y es incierta la posibilidad de explotación futura.
<b>AGUAS ABAJO</b>			
Elaboración local de derivados de litio	Crear capacidades para la producción de derivados de litio en el país. Objetivos: i) desarrollo de procesos para producción de hidróxido de litio; ii) desarrollo de procesos para producción de litio metálico; y iii) desarrollo de procesos para separación isotópica de litio 6 y litio 7.	CIDMEJU INTI (Palpalá) Clorar UNJU Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)	El modelo de negocios de las empresas que de derivados del litio. Concentración de mercado por parte de empresas establecidas (principalmente asiáticas). No hay agentes locales que manejen la tecnología para producción a escala industrial. Elevados costos de producción locales. Dificultades para lograr apoyo de políticas públicas que promuevan la industrialización de las innovaciones desarrolladas.
Investigación y desarrollo en baterías y sus componentes	Desarrollar capacidades locales que sirvan como base para el avance de las iniciativas productivas relacionadas con la fabricación de baterías y sus componentes.	FAMAF INIFTA Universidad Nacional de Catamarca CONICET Y-TEC	Dificultades para desarrollar modelos de negocios atractivos para empresarios operando en el país. Dificultades para lograr apoyo de políticas públicas que promuevan la industrialización de las innovaciones desarrolladas.
Fabricación de baterías y sus componentes	Plan de negocios para producir en la provincia de Jujuy baterías de ion-litio y sus componentes. Objetivos: i) producción en la provincia de Jujuy de baterías, celdas y material activo en asociación con Grupo SERI; ii) participación accionaria en emprendimientos que el Grupo SERI desarrolle en Italia y otros países para la producción de baterías, celdas y material activo; y iii) utilización de la cuota de litio a disposición de JEMSE para aumentar los flujos de recursos económicos de la provincia de Jujuy.	Grupo SERI (FIB-FAAM, Lithops) JEMSE/Jujuy Litio Y-TEC CIDMEJU	El grupo SERI actualmente no produce material activo y celdas a escala industrial. Es un actor pequeño en el mercado de baterías ion-litio. Falta de información sobre estructura de costos de la producción local de las baterías y margen respecto a precio "de mercado". Importante para estimar "costo" del proceso de aprendizaje del proyecto. Poca precisión sobre programa de transferencia tecnológica por parte de Grupo SERI a actores locales. La responsabilidad de comercialización de baterías producidas recae sobre provincia de Jujuy. Falta de coordinación con políticas nacionales para mejorar condiciones de desarrollo del proyecto (por ejemplo, política de renovación de la flota de autobuses). Limitaciones presupuestarias para programas de compras públicas para la innovación. Barreras a la entrada: concentración del mercado de baterías en pocos productores (mayormente asiáticos).
Desarrollo de procesos para el reciclado de baterías	Desarrollar procesos amigables con el medioambiente que permitan un alto grado de recuperación de baterías de ion-litio.	Universidad Nacional de Cuyo CONICET Departamento de Godoy Cruz (Mendoza)	Proceso en escala piloto con altos costos del litio recuperado.

**Cuadro 16. Proyectos locales identificados en relación al litio**

Fuente: elaboración propia.

Al compararse con las estrategias adoptadas en los países vecinos del triángulo del litio, las iniciativas promovidas en la Argentina muestran un mayor nivel de dispersión. Más allá de la evaluación que se pueda realizar en el futuro sobre la efectividad de los proyectos boliviano y chileno –que ocupan, al interior del triángulo, posiciones extremas por su ambición respecto a la cobertura de la cadena de valor–, parece existir en estos casos una mayor alineación entre la visión estratégica en la que se encuadran, el esquema de gobernanza diseñado para el recurso, las herramientas de política diseñadas y las prácticas de los actores. En el caso chileno, como hemos visto, la actual estrategia fue precedida por las discusiones de expertos reunidos en la Comisión Nacional del Litio. El caso de Bolivia, por su parte, responde a una posición política más amplia respecto al control de los recursos naturales, que ofrece el marco de acción en el que se desenvuelve la política de control e industrialización de los recursos evaporíticos. Una vez más, las características del régimen de gobernanza de los recursos, basado en el sistema federal que rige en la Argentina, imponen condiciones que dificultan la alineación de incentivos y aumentan los costos de coordinación de políticas.

Luego, existen obstáculos que conciernen la fase productiva y comercial de los proyectos y que, principalmente, se refieren a la indefinición sobre los modelos de negocios que adoptarían dichos proyectos una vez finalizados. En particular se han relevado durante el trabajo de campo observaciones sobre las dificultades de encontrar empresas (públicas o privadas) con capacidades e interés para explotar los eventuales desarrollos –especialmente en el caso de las técnicas extractivas y la producción de derivados de litio. Las dudas sobre el modelo de negocios son muy intensas en el segmento de baterías, tema que se trata con mayor profundidad más adelante.

En efecto, los desarrollos aguas abajo son particularmente sensibles a obstáculos relacionados con las condiciones de competencia de mercados. En este sentido, se observan dificultades para ingresar en mercados altamente competitivos, dominados por empresas asiáticas (o que producen en Asia). La sustentabilidad de estos proyectos queda supeditada, por lo tanto, a la necesidad de establecer un plan de negocios que prevea, en primer lugar, una curva de aprendizaje tecnológico que permita reducir costos de producción aceleradamente, al tiempo que, en segundo lugar, asegure un volumen de demanda que habilite que los proyectos operen en una escala adecuada. Esto supone, asimismo, asegurar una línea de presupuesto que permita financiar el período de desarrollo de los negocios, hasta alcanzar el punto de auto sustentabilidad del negocio.

El informe de Deutsche Bank (2016) realiza una evaluación de las barreras a la entrada de nuevas firmas en los distintos eslabones de la cadena del litio en base a un conjunto de

indicadores y dimensiones analíticas (Cuadro 17). A medida que se avanza en la cadena, las barreras a la entrada van disminuyendo, aunque también caen los márgenes de rentabilidad. A su vez, las condiciones de competencia son más intensas y los mercados más dinámicos, por lo que la supervivencia en estos segmentos requiere elevados niveles de productividad y una mejora permanente de costos y procesos. Se estima que los costos de producción de celdas de baterías disminuirán del valor actual de alrededor de USD 200/kWh –en 2010 rozaban los USD 400/kWh– a alrededor de USD 150/kWh en 2025 (Pilot, 2017). Adicionalmente, las empresas dedican grandes recursos a las actividades de I+D para mantenerse en la fuerte carrera tecnológica que predomina en el sector. En este sentido, Pilot (2017) señala que pueden pasar entre 10 y 20 años desde el desarrollo de un prototipo de batería hasta su lanzamiento en el mercado. Las actuales tecnologías, por ejemplo, fueron desarrolladas hace ya más de 20 años –LCO fue lanzada en 1991, LTO en 1993 y LFP en 1995.

**Cuadro 17. Análisis de barreras a la entrada en la cadena de valor del litio**

	Compuestos de litio	Cátodo	Electrolito	Baterías
<b>Nivel de concentración de mercado</b>				
<i>Participación de las 4 mayores empresas</i>	75%	42%	50%	65%
<i>Participación de las 10 mayores empresas</i>		67%	85%	90%
Barreras a la entrada	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Requisitos de capital	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Know-how de producción	Medio	Bajo	Bajo	Medio
Estándares industriales claros	No	No	Sí	Sí
Acceso a la materia prima	Difícil	Medio	Medio	Fácil

Fuente: Deutsche Bank (2016).

En las siguientes secciones se analizarán con mayor detalle las iniciativas relevadas a lo largo del estudio, con el objeto de profundizar las observaciones adelantadas aquí, sugiriendo, además, algunos elementos para la construcción de una agenda de política en torno al sector.

## 6.1. Procesos de extracción y procesamiento del litio

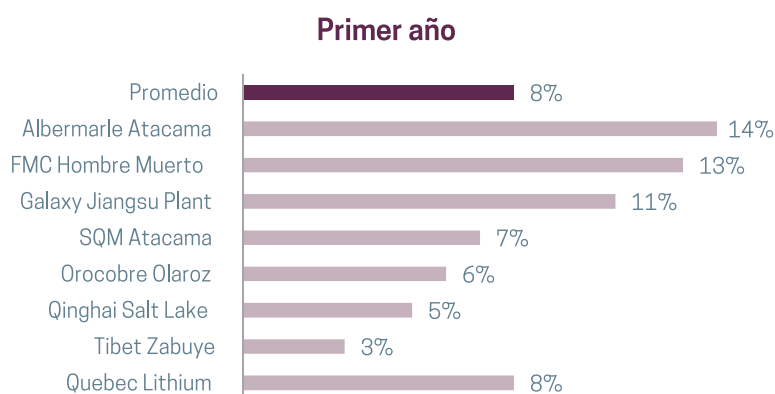
Como se ha discutido, la tecnología de extracción utilizada para la explotación de salares y el procesamiento del litio es relativamente madura. Sin embargo, ello no significa que el desarrollo de procesos para la producción de carbonato de litio sea sencillo. La recuperación de litio de alta pureza a partir de salmueras requiere la remoción de muchos elementos en-

tre los que se incluyen el sodio, el calcio, el magnesio, el boro y el potasio<sup>125</sup>. Por otra parte, la composición química de los salares puede diferir notablemente y, en consecuencia, los métodos deben ser ajustados para maximizar la obtención de litio de calidad de las distintas salmueras. Estas diferencias no se registran solo entre salares, sino también entre los distintos puntos de un mismo salar donde se hacen las perforaciones (Calvo, 2017; Flexer et al., 2018). Como ponen de manifiesto las experiencias recientes que han tenido lugar en la Argentina, la curva de aprendizaje tiene elevada pendiente, lo que retrasa la posibilidad de alcanzar el volumen, los costos y la calidad del producto que demanda el exigente mercado de baterías. El Gráfico 28, por ejemplo, muestra la evolución de la producción de carbonato de litio en empresas seleccionadas durante los tres primeros años de operación.

La información reportada por Sales de Jujuy, la última gran explotación de litio en salares que inició operaciones a nivel mundial, ilustra las dificultades para alcanzar los costos de producción esperados en este tipo de explotaciones. En su informe trimestral de operaciones para el período finalizado en marzo de 2018, Orocobre (socio mayoritario de la subsidiaria) informa un costo operativo de USD 4.365 por tonelada de carbonato de litio, por encima de los USD 3.946 del trimestre anterior (Orocobre, 2018a). Esto ubica a la firma muy por encima de las explotaciones de salares en Chile, con costos de producción en torno a los USD 2.500 o USD 3.000, en los casos de SQM y Albemarle, respectivamente, y más cerca de las explotaciones a partir de mineral de pegmatita, en Australia, con costos que rondan los USD 4.500 por tonelada (Deutsche Bank, 2016).

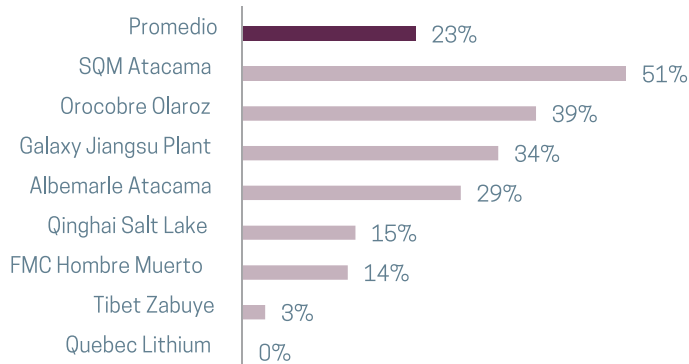
<sup>125</sup> Por ejemplo, los salares de Atacama y Uyuni tienen un alto contenido de magnesio que dificulta la extracción por precipitación de carbonato de magnesio, por lo que debe aplicarse un proceso de separación mediante cal (Calvo, 2017)

**Gráfico 28. Crecimiento de la producción de distintas explotaciones de litio a partir de salares durante los tres primeros años**

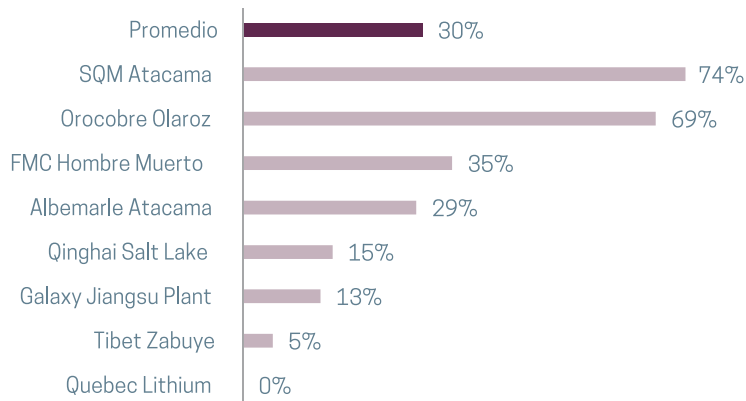




### Segundo año



### Tercer año



\* Basado en una producción esperada inferior a la planificada originalmente (12.000-12.500 tn).

Fuente: Orocobre, basado en datos de informes de las empresas, USGS y Roskill.

Como se ha señalado antes en este documento, existen oportunidades para generar mejoras dentro de las técnicas predominantes, así como también una intensa competencia por desarrollar métodos disruptivos que resuelvan los puntos débiles que tienen las tecnologías de explotación dominantes. En el caso particular de los procesos de operación de salares, los trabajos de investigación se orientan, fundamentalmente, a acortar los extensos plazos que transcurren entre el bombeo y la obtención del carbonato de litio, a reducir el CAPEX<sup>126</sup>, y a minimizar la evaporación de grandes volúmenes de agua y la generación de residuos.

<sup>126</sup> Alrededor del 30-40% del costo de capital inicial se origina en la construcción de las piletas de evaporación solar.

En la actualidad, en las firmas que realizan actividades de exploración, desarrollo u operación de salares en Argentina, los servicios de consultoría e ingeniería más intensivos en conocimiento son provistos internamente por la misma corporación o por firmas especializadas del exterior. El sistema científico y tecnológico local es aún muy limitado y sus capacidades muy incipientes, ya que, además de tratarse de un país con limitada tradición minera, la industria del litio tiene un desarrollo relativamente reciente.

Si la Argentina pretende convertirse en un líder tecnológico en la producción de litio deberá generar capacidades domésticas, con conocimiento adecuado sobre las condiciones idiosincráticas de explotación, que induzcan a las empresas a buscar en el ámbito local soluciones para sus problemas. Ciertamente, el control total de los salares por parte de empresas multinacionales con sus centros de I+D en el exterior plantea obstáculos para avanzar en esta dirección. Sin embargo, como demuestra, por ejemplo, el exitoso caso noruego, es posible concebir mecanismos que favorezcan las actividades de cooperación entre dichas empresas transnacionales y los organismos y actores nacionales del sistema de CyT (Halland et al., 2015; Heum, 2008; Noreng, 2004).

En particular, el desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento de litio constituye un campo altamente intensivo en conocimiento, sumamente competitivo y con posibilidades de conseguir un alto impacto en el mercado internacional –además de generar capacidades que pueden tener aplicación en otros ámbitos. El desarrollo de nuevos métodos que reduzcan los costos de inversión y/u operativos, y que disminuyan la escala eficiente de operación, permitiría, además de acortar los tiempos para poner en marcha la explotación de salares, aumentar significativamente la oferta de litio a nivel mundial (lo que, a los efectos de los intereses del país, tendría como contrapartida, ceteris paribus, un precio por tonelada inferior). Además de avanzar en el terreno científico y tecnológico, el desarrollo de este tipo de tecnologías requiere de elevadas inversiones –por ejemplo, para construir una planta piloto–, por lo cual se hace necesario definir con claridad el modelo de negocios asociado.

Pero en el ámbito de las actividades de extracción y procesamiento se presentan también desafíos que requieren la combinación de iniciativas a nivel institucional con avances en el terreno científico. En particular, en línea con las conclusiones de la Comisión Nacional del Litio (2015) en Chile y de lo discutido, en particular, en la Sección 3, se destaca aquí la necesidad de asegurar una explotación integral y sustentable de los salares.

En lo que se refiere a la explotación integral de los recursos, el aprovechamiento de otros elementos presentes en los salares requiere, simultáneamente, un mayor conocimiento de los salares, el desarrollo de tecnologías de recuperación y procesamiento que vuelvan más

eficiente su extracción y el desarrollo de modelos de negocios que incorporen la explotación de los recursos y sus derivados (como es el caso de las empresas chilenas). Para ello, desde el punto de vista institucional, se necesitan reglas que generen incentivos en esta dirección y faciliten, al mismo tiempo, la cooperación entre el sistema científico y tecnológico y los actores privados del sector.

En lo que se refiere a la segunda cuestión, la sustentabilidad de los salares y el ecosistema de la Puna, se destaca la necesidad de mejorar el conocimiento sobre su hidrogeología, al menos, en el dominio público. En este ámbito, como se ha discutido, el SEGEMAR tiene proyectos en curso. Esto implica, por ejemplo, analizar en profundidad la interacción entre los sistemas de aguas de los salares y las aguas frescas que rodean a los mismos –considerando, por ejemplo, su permeabilidad y porosidad–, la cual será específica de cada salar y se verá afectada de manera distinta según las modalidades de explotación. Esto resulta importante no solo para considerar cuáles son las condiciones de explotación que permitirían reducir la pérdida de agua disponible para otras actividades económicas, sino también para minimizar la disolución de los propios salares (Flexer et al., 2018). También en este ámbito resulta imprescindible la articulación de acciones de los organismos públicos con competencia para la aplicación de los códigos mineros provinciales –y, por lo tanto, de dictar, monitorear y asegurar el respeto de la normativa–, el sistema científico y tecnológico –en particular de los geólogos especializados– y las empresas beneficiadas con las concesiones de los salares. El papel del SEGEMAR en este tipo de actividades puede resultar muy importante, no solo por los proyectos en desarrollo para mejorar el conocimiento sobre distintos aspectos de los salares –reservas, dinámica, etc.– sino también para prestar apoyo técnico a las provincias, que muchas veces no cuentan con capacidades y recursos adecuados para desarrollar plenamente estas funciones.

## 6.2. Proyectos locales de industrialización

Como se ha discutido, los proyectos locales de industrialización del litio pueden dividirse en dos grandes grupos. En primer lugar, se encuentran aquellos que se orientan a desarrollar tecnologías para la producción de compuestos del litio que se ubican en eslabones cercanos a la fase de extracción y procesamiento del carbonato de litio. En este grupo se encuentran, principalmente, los proyectos relacionados con el hidróxido de litio, el litio metálico y la separación isotópica de litio 6 y litio 7. En segundo lugar, se encuentra el proyecto de producción de baterías, que se ubica cerca del final de la cadena de valor del litio –justo antes de la fase de reciclado, que hoy ocupa un lugar menor en dicha cadena.

El proyecto de producción de baterías en la provincia de Jujuy, materializado a través del acuerdo entre JEMSE y el Grupo SERI, aparece como la iniciativa que, hasta el momento, ha alcanzado un mayor grado de avance. En esencia, el proyecto tiene una doble finalidad para la provincia: crear un mecanismo extraordinario de apropiación de la renta minera que complemente las regalías obtenidas por las concesiones y, al mismo tiempo, generar eslabonamientos productivos “hacia adelante” con la perspectiva de constituir un espacio en torno al cual se puedan desarrollar capacidades productivas y tecnológicas que contribuyan al desarrollo de la provincia de Jujuy (además de generar empleo). Para el grupo SERI, claramente, el principal incentivo radica en la posibilidad de conseguir un recurso que, en un contexto de demanda creciente y alta concentración de mercado, se ha vuelto de difícil acceso para las empresas más pequeñas.

Con relación a la cuestión de la renta minera, debe señalarse que la existencia y tamaño de los ingresos adicionales que reciba la provincia por este proyecto dependen de la capacidad que tengan las operaciones en las que Jujuy Litio tenga participación –en Jujuy, en Italia y, potencialmente, en otras partes del mundo– para generar ganancias. Solo en ese caso la provincia sería capaz de convertir la cuota de carbonato de litio que posee en Sales de Jujuy –y, más adelante, en otras operaciones que se pongan en marcha en la provincia–, a través de la firma JEMSE, en una renta de naturaleza extraordinaria que supere los ingresos por la venta misma del carbonato de litio.

En base al análisis realizado en las secciones precedentes deben, sin embargo, tomarse en consideración algunos puntos que ponen en riesgo la generación de estos recursos:

- *Condiciones de mercado:* a pesar de las oportunidades de negocio que ofrecen las perspectivas de crecimiento de la demanda de baterías a nivel mundial, la producción de aquellas y sus componentes está concentrada en unos pocos países asiáticos que han demostrado tener elevados niveles de competitividad y que controlan el mercado. Esto es particularmente cierto en el caso de la tecnología LFP, que sería la elegida por la empresa para producción en Jujuy, al menos durante los primeros años de la operatoria. El grupo SERI, por su parte, aun no produce a escala industrial material activo ni celdas. En el entorno competitivo actual, y considerando la curva de aprendizaje que seguramente deberá recorrer la firma en el proceso de desarrollo y escalado de la tecnología, es probable que durante los primeros años de la operatoria no se obtengan los beneficios esperados.

- *Condiciones institucionales:* existe entre los socios del emprendimiento una marcada asimetría, que no solo concierne a la dimensión tecnológica, sino también a las

áreas de gestión y comercial, que hacen a la operación misma del negocio. En esta última área, en particular, se requieren capacidades para “crear” un mercado, el sudamericano, que es pequeño en baterías e inexistente en celdas y material activo. La complejidad y el dinamismo del sector que se abordará requiere un mayor nivel de profesionalización por parte de los socios locales que mejore la capacidad para:

- Diseñar una estrategia que permita superar la fase inicial del modelo de negocios, sustentada fundamentalmente en compras directas o subsidiadas por el Estado bajo algún esquema de compras públicas para la innovación, y pueda dar sustentabilidad económica al proyecto (aunque en el actual contexto de restricción presupuestaria, la alternativa de una estrategia de estas características no parece viable);
- Operar el negocio de manera autónoma. Esto supone no solo tomar responsabilidad por los aspectos tecnológicos del emprendimiento, sino también por aquellos de naturaleza no tecnológica, como los servicios de venta y post-venta para la región sudamericana –que sería el mercado que se pretende abastecer desde la Argentina;
- Monitorear y auditar las actividades de la sociedad, tanto en la Argentina como en Italia. A partir de la información recogida durante el trabajo de campo realizado, se vislumbra un ambicioso plan de negocios que pretende ampliar las fronteras de la operatoria de la sociedad más allá de estos países –en principio, se mencionó interés por instalar plantas en India y China. La expansión geográfica de la firma, que Jujuy Litio acompañaría como socio en tanto poseedor indirecto de la cuota de litio, reforzaría la demanda de una administración profesional.

En relación a la segunda dimensión del emprendimiento entre Jujuy Litio y el grupo SERI –esto es, la productiva y tecnológica–, es necesario destacar que las posibilidades de generar capacidades a partir de un emprendimiento de naturaleza exclusivamente ensambladora son muy limitadas –más allá, por supuesto, de los puestos de trabajo directos que generará la planta, estimados en unos 65, inicialmente. Como se ha discutido ampliamente en la literatura, el potencial para emprender un proceso virtuoso de aprendizaje tecnológico depende, fundamentalmente, de las así llamadas “capacidades de absorción” (Cohen & Levinthal, 1990; Zahra & George, 2002), así como también de las actividades de I+D desarrolladas localmente (Jensen et al., 2007). En base al análisis de la información que se ha logrado relevar sobre el proyecto, surge la necesidad de definir algunos puntos importantes, que

generarían mejores condiciones para que dicho proceso tenga lugar:

- Especificar las actividades de transferencia tecnológica desde el grupo SERI a los socios argentinos, más allá de los grupos de investigación que participan del equipo de Y-TEC. Se podría incluir en el esquema la participación de investigadores y la formación de becarios en los centros de I+D que el grupo SERI tiene en el exterior. Asimismo, instituciones locales, en particular el CIDMEJU, el INIFTA y FAMAF, podrían participar del plan de trabajo de los consorcios de investigación de los que participa Lithops.
- Generar articulaciones con actores del sistema productivo local que puedan tener interés en beneficiarse de la transferencia de la tecnología desarrollada y generar modelos de negocios que den lugar a eslabonamientos locales. Debe destacarse que durante las primeras fases de operatoria de la planta de baterías el litio extraído de Jujuy ni siquiera sería transformado en material activo para baterías en la provincia. El papel de Y-TEC para facilitar estos procesos puede ser relevante, por su naturaleza de empresa tecnológica.
- Definir un plan de trabajo y formas de vinculación entre el proyecto y los equipos locales que llevan adelante tareas de I+D en temas relacionados con el litio, la producción de baterías y sus componentes (en particular, el CIDMEJU, que podría coordinar un programa integrado de actividades que incluya a equipos de investigación en otras instituciones del país).

Volviendo al grupo de proyectos vinculados a la producción de compuestos del litio que se ubican en eslabones cercanos a la fase de extracción y procesamiento inicial del recurso, cabe destacar que los mismos presentan desafíos que son de naturaleza particular vis a vis el de fabricación de baterías. En principio, todos ellos se orientan a resolver problemas tecnológicos complejos, especialmente en lo que se refiere al desarrollo de nuevos procesos. Por ejemplo, producir litio metálico en condiciones competitivas con los costos de energía local o desarrollar tecnología para la producción de hidróxido de litio sin pasar por carbonato de litio. Sin embargo, a diferencia de la batería (en las condiciones planteadas en el proyecto antes discutido), implicarían innovaciones domésticas, antes que la importación de tecnología con fines productivos. Asimismo, se requerirían capacidades de comercialización menos sofisticadas, por tratarse de productos menos diferenciados que las baterías. Estos factores alentarían el desarrollo local de emprendimientos de este tipo.

### 6.3. Fortalecimiento de los sistemas de innovación nacional y regionales

A medida que se avanza hacia niveles más complejos, el proceso de aprendizaje tecnológico requiere el desarrollo de un sistema de innovación que favorezca los procesos de creación y difusión de conocimiento. Ello implica, entre otras condiciones, que los actores que pertenecen al sistema de CyT operen en un entorno institucional que tenga una dotación de recursos adecuada, proponga incentivos eficaces a los investigadores y favorezca el intercambio de conocimiento con los actores del sector privado.

En el campo específico de las baterías y sus componentes, distintos países y regiones del mundo, con sistemas de innovación consolidados, han comprometido un elevado monto de recursos para desarrollar tecnologías más eficientes, en particular, en el campo de la movilidad. La dimensión de los desafíos en el ámbito de las baterías queda ilustrada en el documento “Become competitive in the global battery sector to drive e-mobility forward”, que publica los objetivos del programa de la Comisión Europea para el desarrollo de la industria de baterías para la movilidad eléctrica:

[...] la competencia en este sector es intensa y no deja espacio para la complacencia. Por lo tanto, es necesario aumentar la investigación y la innovación para no perder el tren del desarrollo y la adopción de baterías en el mundo. Las actividades de investigación e innovación son necesarias para volverse competitivo en el sector de baterías [...]<sup>127</sup>.

La decisión política de crear el CIDMEJU constituye un paso hacia la articulación de un sistema de innovación en torno a los salares. El centro no solo pretende ocupar un lugar destacado en la agenda de investigación sobre litio, sino que, tal como evidencia su nombre –Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía– representa una oportunidad para generar capacidades y formar recursos en desarrollo de ciencias de materiales y con orientación hacia aplicaciones en energía.

Desde su creación, el CIDMEJU ha sido beneficiado con distintas líneas de financiamiento que le han permitido adquirir equipamiento, así como desarrollar sus líneas de investigación<sup>128</sup>. Sin embargo, no pueden dejar de señalarse desafíos que enfrenta el CIDMEJU y ponen en riesgo su capacidad para constituirse en una organización capaz de articular y motorizar el desarrollo de capacidades en torno al litio. Entre aquellas se pueden enumerar las siguientes:

---



<sup>127</sup> Integrated SET-Plan Action 7. Implementation Plan, “Become competitive in the global battery sector to drive emobility and stationary storage forward”, disponible en [https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/set\\_plan\\_batteries\\_implementation\\_plan.pdf](https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/set_plan_batteries_implementation_plan.pdf).

<sup>128</sup> Por ejemplo, su fundación ha estado asociada a un subsidio de alrededor de \$ 11 millones recibido a través del Fondo de Innovación Tecnológica Regional (FITR), gestionado por el Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC), titulado “Litio Argentino: Desde su génesis geológica y extracción hasta baterías de última generación dentro de una estrategia sustentable”.

- Institucionalidad de carácter provisional, debido al bajo número de investigadores radicados en el centro (solo 3, con uno en proceso de radicación).

- La falta de presupuesto operativo estable. Los recursos provienen de los aportes de la UNJU, el gobierno provincial y aportes a través de proyectos financiados a través de MINCYT y la ANPCyT. No se registra programación plurianual relacionada con líneas de trabajo. Los fondos públicos se complementan con aportes privados de empresas locales (en general de tamaño pequeño y mediano), conseguidos personalmente por los investigadores. Estas condiciones dispersan la atención de los investigadores de sus actividades científicas.

- Los problemas para lograr la radicación de investigadores, lo que, a su vez, repercute negativamente sobre la posibilidad de consolidar la organización del centro.

- Agenda de trabajo dispersa, con una definición poco consensuada entre los miembros del equipo de trabajo.

- Los vínculos con otros actores del sistema de CyT, tanto del país como del exterior, son de naturaleza personal y no forman parte de una agenda de trabajo institucionalizada.

- La actual ausencia de equipos de geólogos, necesarios para profundizar estudio de los salares y su dinámica. Este problema quedaría subsanado de concretarse el ingreso del SEGEMAR al CIDMEJU, tal como se anticipó en algunas de las entrevistas realizadas durante el trabajo de campo.

Pese a estas debilidades, consideramos que el CIDMEJU podría ocupar un lugar estratégico como coordinador de la agenda de investigación nacional en torno al litio. Sin embargo, para ello sería necesario:

- Definir un programa de investigación y un plan de trabajo, elaborados a partir del diálogo conjunto con actores del sector privado relacionados con el litio o que podrían participar de la cadena de producción.

- Fortalecer las redes con otros actores del sistema de CyT, incluyendo a las universidades, el INTI y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), entre otros.

- Consolidar un presupuesto que permita la planificación de líneas de trabajo plurianuales, la compra de equipamiento y la contratación de personal de apoyo. Este presupuesto se puede alimentar adicionalmente con financiamiento derivado del



sector privado, así como también de las rentas obtenidas por JEMSE y Jujuy Litio.

- Mejorar los incentivos para la radicación de investigadores en el CIDMEJU.
- Incluir las áreas de investigación relacionadas con el estudio geológico de los salares.
- Promover las alianzas internacionales.

Asimismo, a los fines de fortalecer la dimensión productiva del sistema de innovación, resulta imprescindible involucrar a los actores privados en la definición e implementación de proyectos. Esto se presenta como una condición necesaria para que la I+D pueda convertirse en una herramienta para la construcción de eslabonamiento amplios y, especialmente, profundos, con preferencia para la localización de procesos en el territorio local. Más allá de las orientaciones adoptadas, las experiencias de los países vecinos constituyen referencias valiosas para la construcción de agenda. En particular, el caso de la Comisión del Litio, en Chile, se presenta como el de un proceso informado que ha convocado a una gran diversidad de actores y que se ha plasmado en iniciativas que involucran al sector privado. Asimismo, la construcción de agenda mediante procesos de este tipo permite reforzar el respaldo político y social de las medidas adoptadas.



## 7

## REFLEXIONES FINALES

El litio ha adquirido notoriedad en tiempos recientes debido al gran interés que ha despertado tanto en inversores mineros que buscan nuevas oportunidades de negocios como en aquellas empresas que desarrollan productos en los que el litio es un insumo crítico. Entre estas últimas se encuentran, principalmente, los fabricantes de baterías, ya no solo en la electrónica, sino también en la industria automotriz y para almacenamiento energético. El mayor uso de las baterías de litio en estos dos últimos sectores se da en el contexto de las iniciativas globales para avanzar –no sin dificultades– en el uso de tecnologías limpias y en el proceso de descarbonización (del que son ejemplos los acuerdos de París de 2015 en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático).

Si bien el litio no es un metal escaso, la oferta de los insumos utilizados en la producción de material activo de las baterías –principalmente el carbonato de litio– no ha logrado responder a la demanda explosiva por parte de los usuarios. La puesta a punto de un proyecto para la explotación de salares puede demorar hasta 10 años, mientras que los proyectos dirigidos a obtener el litio de pegmatitas pueden implementarse más rápidamente, aunque con costos operativos mucho más elevados.

Los países donde se concentran las mayores reservas de litio, Argentina, Australia, Chile y China –además de Bolivia, que tiene vastos recursos, pero cuyo potencial económico no ha sido debidamente cuantificado– se presentan entre los potenciales beneficiarios de este escenario. Estos países buscan atraer inversiones, las cuales una vez concretadas generan mayores ingresos por regalías e impuestos, así como divisas por exportaciones. En algunos casos, como los de los países del triángulo del litio, los gobiernos nacionales y locales han buscado aprovechar la posesión de un recurso codiciado para promover impactos positivos sobre sus territorios en materia de eslabonamientos productivos, proyectos de innovación y/o desarrollo local.

La Argentina es el cuarto país del mundo en reservas y el tercero en volumen de producción, de acuerdo a datos del U.S. Geological Service (2018). El grueso de las reservas probadas y potenciales de litio está en salares situados en tres provincias norteañas, Catamarca, Jujuy y Salta (solo en las dos primeras se produce en 2018, aunque hay proyectos en desarrollo en los tres casos). El país también posee yacimientos en pegmatitas que actualmente se encuentran en fase de exploración.

El potencial en este sector es tan grande que algunos analistas especulan con la posibilidad de que la Argentina se convierta en el principal productor de carbonato de litio. Esto ha motivado que en la prensa local se hable del “oro blanco”. Las expectativas generadas sugieren incluso la posibilidad de que el litio se convierta en un nuevo producto “estrella” de la canasta exportadora. Sin embargo, el optimismo es a todas luces desmedido, aun considerando las proyecciones más optimistas respecto a las proyecciones sobre el volumen de producción del país en los próximos años. Actualmente, con precios que han alcanzado su máximo histórico, las exportaciones de carbonato y cloruro de litio no llegan a representar el 0,4% de las exportaciones locales. Para alcanzar apenas el 1% de las exportaciones debería, *ceteris paribus*, más que duplicarse la producción, lo cual, considerando el ritmo de exploración, de puesta en marcha y evolución de los proyectos durante sus primeros años de funcionamiento, no parece factible en los próximos 5 años.

Si, en cambio, existen dos tipos de impacto que son más prometedores. El primero de ellos es de naturaleza local y concierne a las provincias donde se localizan los salares. La generación de ingresos que suponen las actividades de exploración y prospección, así como la construcción y operación de las plantas, puede tener un impacto importante sobre los recursos fiscales y el empleo de dichas provincias, que se encuentran entre las de menor desarrollo relativo del país. Esto último es particularmente importante en los territorios donde se realiza la actividad extractiva, ya que se trata de zonas que están incluso más rezagadas que el promedio de los respectivos distritos provinciales donde se localizan. Para ilustrar la dimensión de la actividad, basta señalar que las exportaciones de carbonato y cloruro de litio representan alrededor del 16% de las exportaciones jujeñas y en torno al 10% de las de Catamarca.

El segundo impacto se refiere a la oportunidad que ofrece el litio para que la Argentina se convierta en un jugador relevante en el desarrollo de tecnologías aplicadas en las distintas etapas de la cadena de valor. Que esta oportunidad se materialice depende, en gran medida, de lo que ocurra en los distritos donde se encuentran las reservas de litio, ya que en el actual orden constitucional argentino son las provincias las que tienen el dominio originario de los

recursos mineros existentes en su territorio. Pero también depende de las actividades de un conjunto más amplio de actores que incluyen al sector privado y a quienes participan del sistema de ciencia y técnica nacional.

En primer lugar, los gobiernos podrían utilizar los ingresos derivados del litio para mejorar la infraestructura y el capital humano de sus provincias, o promover el surgimiento de otras actividades que diversifiquen la estructura productiva local. Estos temas no han sido tratados en este estudio y futuras investigaciones deberían indagar sobre los mismos. Sin embargo, como se discute a lo largo del trabajo, el mayor potencial transformador de las industrias extractivas pasa por el desarrollo de eslabonamientos “productivos” (que incluyen también los de naturaleza científico-tecnológica). Para que este tipo de eslabonamientos se pueda materializar, como se ha señalado, es necesario establecer una estrategia que esté alineada con el régimen de gobernanza del recurso y las estrategias a disposición.

El camino por recorrer para concretar las oportunidades que se abren es largo. No solo se trata de un sector de incipiente desarrollo –aun cuando el Salar del Hombre Muerto, en Catamarca, se haya explotado desde 1998– sino que el país no cuenta, a diferencia de su vecino Chile, con una industria minera de alto volumen, que le haya permitido el desarrollo de capacidades productivas y tecnológicas relacionadas con la explotación de litio. En el caso argentino, Jujuy ha sido la provincia que con mayor ímpetu ha intentado avanzar por esta vía, buscando ir más allá de la fase extractiva para generar impactos y capacidades en estadios “aguas arriba” y “aguas abajo” de la cadena de valor del litio.

De estas iniciativas, la que ha concitado mayor atención en el debate público es la de la fabricación (o más bien, por ahora al menos, ensamblado, ya que el proyecto prevé el uso de celdas importadas) de baterías de ion-litio. Este proyecto se ha concebido en asociación con un grupo empresario italiano cuyo ingreso al mercado de litio es incipiente, aprovechando la cuota de prioridad de venta de carbonato de litio que JEMSE posee en Sales de Jujuy, en Minera Exar, cuando comience a producir –y, posiblemente, en los futuros emprendimiento que operen en salares ubicados en la provincia. En esto, el gobierno de Jujuy intenta seguir la lógica predominante en la mayor parte de los países y territorios abundantes en recursos extractivos y rezagados en términos socio-económicos: avanzar “aguas abajo” hacia la etapa industrial, buscando promover la emergencia de nuevos sectores productivos en base al procesamiento del mineral.

Sin embargo, la teoría económica que se ocupa de las relaciones entre recursos naturales y desarrollo, la evidencia internacional de países de altos ingresos ricos en recursos extractivos (por ejemplo, Australia o Noruega) y el propio examen de las fortalezas y debilidades del

“proyecto batería”, sugieren que este no es necesariamente el camino más apropiado para aprovechar al litio como plataforma de una transformación estructural de las provincias dueñas del recurso. Desde un punto de vista general, los países ricos en recursos naturales y con experiencia y conocimiento en las industrias primarias no necesariamente (y, más bien, se podría decir raramente) cuentan con las capacidades necesarias para competir en las industrias aguas abajo (para ilustrar el punto, se podría decir que disponer de hierro no necesariamente genera condiciones propicias para producir eficientemente vehículos que utilizan acero).

En el caso específico del “proyecto batería” se han analizado en el estudio diferentes dimensiones que ponen de manifiesto la “distancia” que separan la posesión del recurso primario –litio en este caso– de la posibilidad concreta de avanzar hacia la fabricación de dicho producto. En primer lugar, existe una distancia “material”, caracterizada por la pequeña parte que el litio representa del costo total de una batería. En segundo lugar, existe una distancia “tecnológica”, que se explica por el hecho de que el camino aguas abajo en la cadena de valores conduce hacia procesos que son, en términos tecnológicos, cada vez más “extraños” respecto a los procesos necesarios para extraer eficientemente el recurso. En tercer lugar, existe una distancia “competitiva”, ya que hay jugadores instalados con elevadas escalas, bajos costos de producción y que operan cerca de sus clientes, todas condiciones esenciales para lograr competitividad en este tipo de productos. Finalmente, identificamos una distancia “operativa”, ya que un proyecto de estas características requiere para ser exitoso no solo capacidades técnicas y productivas, sino también de gestión y comerciales, que no está claro que estén disponibles hoy en Jujuy. Estas “distancias” no necesariamente suponen la cancelación de iniciativas de este tipo, pero deben tomarse consideración para dimensionar los desafíos que imponen para la política pública y los potenciales costos que conllevan para la sociedad –al menos durante su período de maduración– proyectos de estas características.

En contraste, los eslabonamientos “aguas arriba”, que han sido promovidos con éxito en experiencias como las de Australia y Noruega, aun cuando no están exentos de desafíos, presentan algunas ventajas que no están presentes en la actividades “aguas abajo”:

- i) dichos eslabonamientos están “más cerca” de las capacidades locales desde el punto de vista de la familiaridad de los agentes con los conocimientos y tecnologías empleadas;
- ii) la explotación de recursos naturales siempre tiene aspectos “idiosincráticos” que muchas veces hacen necesaria la generación de innovaciones específicas y adapta-

das a esos aspectos; y

iii) en lo que se refiere a la explotación específica del litio en salares y a partir de pegmatitas, la actividad tiene característica intrínsecas que favorecen el desarrollo local de encadenamientos.

En otras palabras, disponer de litio favorece más este tipo de encadenamientos en relación a los que se desarrollan “aguas abajo”. De hecho, en el escenario de mercado antes descrito para el caso específico del litio, hay una evidente necesidad de desarrollar tecnologías más eficientes en pos de reducir costos y, en lo que hace a la explotación en salares, en particular, se plantea la posibilidad de implementar métodos no evaporíticos (innovaciones disruptivas), que reduzcan de manera dramática los tiempos necesarios para poner a punto los proyectos productivos.

Más aún, si se habla de eslabonamientos productivos, el mayor potencial a largo plazo está en los de tipo “horizontal” (es decir, aquellos que se basan en la posibilidad de que el conocimiento, los bienes de capital y los servicios asociados al sector de recursos naturales sean utilizados en otras actividades productivas). En otras palabras, es relevante resaltar la importancia de adoptar una mirada que trascienda “la era del litio”. Con esto nos referimos a la necesidad de generar capacidades y competencias que sirvan de base para futuros avances hacia la diversificación productiva en los territorios ricos en litio y promuevan procesos de desarrollo sostenido que vayan más allá de los ciclos de éste u otros recursos naturales.

En este escenario, ¿cuáles son los principales desafíos que se presentan a la hora de aprovechar las oportunidades para generar eslabonamientos productivos en torno al litio con potencial de generar impactos positivos sobre el nivel de desarrollo y la creación de capacidades locales? En primer lugar, es difícil ignorar la posibilidad de que la “ventana” del litio como insumo dominante en el nuevo mundo de la movilidad en base a electricidad y del almacenamiento energético sea relativamente corta (¿20 años?), ya que hay otras alternativas tecnológicas en fase de exploración que son superiores, al menos en términos teóricos. En segundo lugar, hay una gran cantidad de actores, tanto en el ámbito privado como en el académico que, en distintos países del mundo, están desarrollando nuevas tecnologías que apuntan a mejorar sustancialmente la eficiencia y a reducir drásticamente los costos y los tiempos requeridos actualmente para extraer y producir carbonato o hidróxido de litio, los principales insumos del material activo de los electrodos de baterías (de paso, vale señalar que la difusión eventual de estas tecnologías motivaría probablemente una fuerte caída del precio del litio). La combinación de estos factores sugiere que hay que moverse con rapidez en la promoción de las iniciativas de eslabonamientos “aguas arriba” si no se quiere llegar

tarde en esta carrera tecnológica.

Se suma a la enumeración de desafíos el hecho de que la Argentina está transitando un proceso de consolidación fiscal, que limita las posibilidades de contar con recursos públicos para financiar proyectos de I+D, la compra de equipamiento o programas de compras públicas para la innovación. En relación al sistema de innovación, debe señalarse que, si bien existen significativas capacidades tecnológicas en los actores que trabajan sobre el litio, no hay una “masa crítica” que permita expandir demasiado la cantidad y variedad de los proyectos de I+D a llevar adelante manteniendo su capacidad de lograr avances significativos. La falta de capacidades locales se hace mucho más evidente cuando hablamos de las dimensiones de producción, gestión y comercialización, así como en lo que hace al acceso y capacidad de análisis y procesamiento de la información relativa a las alternativas tecnológicas y los pronósticos del mercado global del litio y derivados. Este déficit aumenta a medida que se avanza hacia productos con mayor nivel de diferenciación y sofisticación tecnológica.

El sistema de gobernanza del recurso en la Argentina presenta desafíos particulares. El hecho de que el dominio de los recursos minerales esté en manos de las provincias genera dificultades de coordinación en el área de las políticas públicas e incluso también en las eventuales negociaciones con empresas privadas interesadas en producir litio (por ejemplo, si hay diferencias en las políticas provinciales las empresas pueden preferir operar en el distrito con menores exigencias, llevando eventualmente a una competencia “hacia abajo” en las regulaciones).

Los problemas de coordinación involucran también a los agentes privados. Como demuestran las experiencias de otros países en desarrollo que han intentado promover encadenamientos en base a la minería (Chile con el cobre, por ejemplo), no es fácil alinear incentivos y articular acciones entre los distintos actores de las cadenas de valor. Las empresas productoras son, por lo general, transnacionales y tienen escaso interés e incentivos para la cooperación local –más allá de la responsabilidad social corporativa– así como una fuerte renuencia a “abrir” sus procesos de innovación y sus estrategias productivas a la colaboración con agentes externos –salvo que se trate de socios globales. En tanto, los potenciales proveedores locales, en particular en un sector emergente como el del litio, generalmente tienen deficiencias serias en su gestión productiva y carecen de capacidades tecnológicas avanzadas. Sin embargo, como muestra, por ejemplo, el caso noruego, es posible concebir mecanismos que favorezcan la cooperación entre las empresas transnacionales y los organismos y actores nacionales del sistema de CyT.

En este contexto, considerando la elevada dispersión de las iniciativas existentes y la fal-

ta de una estrategia consistente y coordinada de largo plazo, cabe aquí destacar que es imprescindible fijar prioridades de acción y articular visiones, objetivos y estrategias entre los distintos agentes de la cadena de valor del litio en el país. En efecto, hay una serie de proyectos y alternativas de política que ya han sido planteadas por distintos actores y que deberían discutirse en ámbitos que integren a representantes del sector público (en sus distintos niveles y competencias), privado y académico, incluyendo además la visión de las comunidades de pueblos originarios presentes en los territorios donde se encuentran los salares, lo cual ayudará a reforzar el respaldo político y social de las medidas adoptadas. Aunque la mayor parte de las iniciativas que se comentan más abajo corresponde a la provincia de Jujuy, por ser la que se ha destacado en avanzar en dirección a promover eslabonamientos productivos y tecnológicos en torno al litio, las reflexiones presentadas son de relevancia para otros distritos que pretendan seguir caminos similares.

En el caso de las iniciativas “aguas arriba”, el desarrollo de nuevas técnicas de extracción y procesamiento de litio constituye un campo altamente intensivo en conocimiento, sumamente competitivo y con posibilidades de conseguir un alto impacto en el mercado internacional –además de generar capacidades que pueden tener aplicación en otros ámbitos. En este caso, en conjunto con el desarrollo tecnológico, que tiene una elevada demanda de financiamiento en términos de inversiones (en especial, aquellas que son carácter disruptivo), es necesario delinear con mayor claridad el modelo de negocios asociado a las respectivas innovaciones. Ya hay varios proyectos en marcha en el país en esta área y, en el contexto de relativa escasez de recursos monetarios y humanos antes planteado, parece deseable priorizar algunos de ellos en función de parámetros tales como sus posibilidades de éxito tecnológico, necesidad de inversiones, potenciales impactos sobre el ecosistema tecno-productivo, existencia de un mercado potencial, etc.

Adicionalmente, es necesario asegurar una explotación integral y sustentable de los salares, tema que hasta ahora ha ocupado un lugar marginal en la agenda de discusión. Para alcanzar este objetivo se requiere mejorar el conocimiento sobre los salares (en particular, su génesis, dinámica hidrológica e inventariado) y desarrollar soluciones específicas. Asimismo, en paralelo con el trabajo en el ámbito tecnológico, resulta imprescindible cambiar el conjunto de incentivos que enfrentan las empresas, incluyendo mecanismos que estimulen una mayor cooperación con el sector científico-tecnológico así como una mayor capacidad para monitorear y asegurar el *enforcement* de las regulaciones ambientales por parte de las autoridades competentes.

Finalmente, siempre en la etapa “aguas arriba”, hay oportunidades para promover el desarro-



llo de proveedores locales eficientes, tanto en tareas tecnológicamente complejas, como en otras de carácter más rutinario pero que son importantes para el entorno socio-económico donde se ubican los salares. Aunque algunas instituciones, como el INTI, ya están trabajando en esta materia, es necesario profundizar la articulación público-privada en este ámbito a través de mecanismos que combinen incentivos para que las empresas mineras tercericen actividades localmente y programas de capacitación para que las empresas locales puedan integrarse en la cadena de valor de las empresas mineras.

Respecto de las iniciativas “aguas abajo”, hay dos grandes grupos de proyectos. Por un lado, los que pretenden producir derivados de litio cercanos a la fase de extracción y procesamiento inicial del recurso (hidróxido de litio, litio metálico y la separación isotópica de litio 6 y litio 7). Todos ellos se orientan a resolver problemas tecnológicos complejos, en particular en lo que se refiere al desarrollo de nuevos procesos. Sin embargo, a diferencia del proyecto batería, implicarían innovaciones domésticas, antes que la importación de tecnología con fines productivos. La factibilidad y potencial impacto de estos proyectos deben ser analizados caso por caso.

Por otro lado, nos encontramos con los proyectos en torno a las baterías y sus componentes. En el terreno de las actividades de investigación y desarrollo, es indudable que la red desarrollada en torno al eje INIFTA-FAMAF representa una fuente importante de creación de capacidades y de transferencia tecnológica para potenciales actores privados interesados en avanzar en la fase productiva. El eslabón débil se encuentra en el desarrollo de modelos de negocios que resulten atractivos para estos actores.

Por su parte, se encuentra también en este terreno el proyecto de producción de baterías a través del acuerdo entre JEMSE y el Grupo SERI. De acuerdo al análisis aquí realizado este proyecto enfrenta una serie de desafíos que ameritan un examen cuidadoso.

En primer lugar, el mercado de baterías está muy concentrado en un puñado de países asiáticos que producen con altas escalas y bajos costos, algo que es particularmente agudo en el caso de una tecnología ya madura como la LFP (la elegida para el proyecto). En este escenario, es esperable que dada la poca experiencia del grupo SERI en la fabricación de baterías el costo promedio de las baterías producidas esté bastante por encima del de mercado sin que se pueda esperar que, en el actual contexto de restricción presupuestaria, el Estado nacional o provincial puedan cubrir esta brecha con subsidios. En segundo lugar, existe una fuerte asimetría entre JEMSE y SERI en materia de capacidades tecnológicas, de gestión y comerciales (e incluso para monitorear el devenir del negocio conjunto, que aspira a ser global según las negociaciones llevadas adelante hasta ahora). En particular, si bien según

la carta de intención publicada por el Grupo SERI, será JEMSE la encargada de buscar los mercados para las baterías producidas (algo que contrasta, por ejemplo, con los acuerdos entre el gobierno boliviano y socios alemanes para un proyecto de producción de baterías en dicho país, donde son estos últimos los responsables de buscar los compradores), la empresa jujeña carece por el momento de la capacidad profesional para realizar esta tarea, aun dentro del muy incipiente mercado sudamericano. En tanto, como se dijo, es implausible esperar que el sector público, en el actual contexto local, “genere” la demanda de estos productos mediante esquemas de compras subsidiadas.

En cuanto a la dimensión productivo-tecnológica del proyecto batería, las posibilidades de generar derrames y capacidades en el medio local a partir de un emprendimiento de naturaleza exclusivamente ensambladora son muy limitadas (la generación de empleo, en pequeña escala por otro lado, al menos en la fase inicial del proyecto, sería la contribución más visible). En este sentido, no están claras las actividades de transferencia de tecnología desde SERI a los socios locales, ni tampoco las posibilidades reales de articulación con otros actores que tienen capacidades para desarrollar actividades de innovación en torno a este proyecto (por ejemplo, Y-TEC, INIFTA, FAMAFA o el CIDMEJU).

Aunque no necesariamente estén involucrados en actividades de producción y comercialización, es posible que sean más importantes las capacidades generadas por los grupos que están desarrollando proyectos de investigación vinculados a tecnologías de frontera, las cuales ofrecerían un desempeño teórico superior al de las baterías comercializadas en la actualidad. Por ejemplo, este sería el caso de las baterías de litio-azufre, donde los equipos de INIFTA y FAMAFA llevan adelante proyectos de investigación en colaboración con universidades del exterior.

Más en general, y de nuevo poniendo el foco en la generación de capacidades, resulta fundamental promover una mejora sustantiva en el sistema de innovación nacional y regional asociado al litio, a fin de dotarlo de recursos adecuados, de incentivos eficaces para los investigadores, de una agenda que sea el resultado de un proceso de coordinación entre los actores y de mecanismos fluidos de cooperación e intercambio de conocimiento con el sector privado. El CIDMEJU, por el apoyo político que ha recibido, en particular de la provincia de Jujuy, de la UNJU y del MINCYT, podría ser el eje de este sistema de innovación. Sin embargo, para desempeñar ese papel deben abordarse algunos temas pendientes tales como su institucionalidad provisoria, el reducido presupuesto operativo, las dificultades para lograr la radicación de investigadores, la agenda de trabajo dispersa y las carencias en materia de personal de apoyo. Asimismo, es crucial involucrar a los actores privados en la definición

e implementación de proyectos a fin de que las actividades de I+D sean una herramienta para la construcción de eslabonamientos profundos, con preferencia para la localización de procesos en el territorio local. En la misma línea, los recursos públicos escasos para actividades de investigación podrían complementarse con fondos privados si se definieran proyectos tecnológicos factibles y de posible interés comercial.

Finalmente, más allá de las orientaciones y sistemas de gobernanza adoptados en cada caso, las experiencias de los países vecinos constituyen referencias valiosas para la construcción de una agenda local. En particular, el caso de la Comisión del Litio en Chile se presenta como el de un proceso informado que ha convocado a una gran diversidad de actores y que se ha plasmado en iniciativas que involucran al sector privado. En esta línea, también sería interesante evaluar la posibilidad de que, en el caso de Jujuy, donde el Estado provincial dispone de una cuota de prioridad de venta sobre la producción de litio, se adopte un esquema similar al aplicado en Chile, donde se “licita” esa cuota a fin de que los privados propongan proyectos de industrialización que tomen provecho de la misma.

Estas son apenas algunas opciones que emergen del análisis realizado en este trabajo. Sin embargo, las líneas concretas de acción, como se mencionó antes, deberían emerger de un ejercicio colectivo de articulación en donde las distintas partes compartan visiones e información y puedan arribar a un diagnóstico consensuado respecto de cómo aprovechar la oportunidad que brinda el litio para apoyar la transformación productiva de las provincias en donde existe el recurso, y para generar las condiciones para que el país alcance una posición relevante en el escenario tecnológico global en la cadena de valor del litio.





## BIBLIOGRAFÍA

- Andersen, A. D., Marín, A., & Simensen, E. O. (2018). Innovation in natural resource-based industries: a pathway to development? Introduction to special issue. *Innovation and Development*, 8(1), 1-27.
- Aurbach, D., McCloskey, B. D., Nazar, L. F., & Bruce, P. G. (2016). Advances in understanding mechanisms underpinning lithium-air batteries. *Nature Energy*, 1(9), 16128.
- Auty, R. M. (1990). *Resource-based industrialization: Sowing the oil in eight developing countries*: Oxford University Press, USA.
- Auty, R. M. (2001). *Resource abundance and economic development*: Oxford University Press.
- Baran, E. (Ed.). (2017). *Litio: un recurso natural estratégico desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas*. Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Bastida, A. E. (2014). From extractive to transformative industries: paths for linkages and diversification for resource-driven development. *Mineral Economics*, 27(2-3), 73-87.
- Border, S., & Sawyer, L. (2014). Evaporites and brines – geological, hydrological and chemical aspects of resource estimation. *Applied Earth Science*, 123(2), 95-106.
- Boston Consulting Group. (2007). Estudios de competitividad en clusters de la economía chilena. In D. d. r. Acuicultura (Ed.).
- Bradley, D. C., Stillings, L. L., Jaskula, B. W., LeeAnn, M., & McCauley, A. D. (2017). *Lithium. Chapter K of Critical Mineral Resources of the United States—Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*. Reston, Virginia.
- Bridge, G. (2008). Global production networks and the extractive sector: governing resource-based development. *Journal of Economic Geography*, 8(3), 389-419.
- British Geological Service. (2016). Lithium. Retrieved from file:///C:/Users/mobaya/Downloads/lithiumProfile.pdf.
- Buainain, A. M., Corder, S., & Pacheco, C. A. (2014). Brasil: experiencias de transformación de la institucionalidad pública de apoyo a la innovación y el desarrollo tecnológico. *Nuevas instituciones para la innovación: Prácticas y experiencias en América Latina*. LC/W. 601. 2014-05. p. 85-129.
- Calvo, E. J. (2017). Procesos de extracción de litio de sus depósitos en salares argentinos. In E. Baran (Ed.), *Litio: un recurso natural estratégico desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas*. Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Castello, A., & Kloster, M. (2015). Industrialización del Litio y Agregado de Valor Local: Informe Tecno-Productivo. In F. Porta & G. Baruj (Eds.). Buenos Aires: Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia Tecnología e Innovación. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

- CEPAL. (2016). La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe 2016. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Chagnes, A., & Swiatowska, J. (2015). *Lithium process chemistry: Resources, extraction, batteries, and recycling*. Amsterdam (Netherlands), Oxford (UK), Waltham (USA): Elsevier.
- Christmann, P., Gloaguen, E., Labbé, J.-F., Melleton, J., & Piantone, P. (2015). Global lithium resources and sustainability issues. In A. Chagnes & J. Swiatowska (Eds.), *Lithium Process Chemistry. Resources, Extraction, Batteries, and Recycling* (pp. 1-40). Amsterdam (Netherlands), Oxford (UK), Waltham (USA): Elsevier.
- Coe, N., Dicken, P., & Hess, M. (2008). Global production networks: realizing the potential. *Journal of Economic Geography*, 8, 271-295.
- Coe, N. M., & Yeung, H. W. (2015). *Global production networks: Theorizing economic development in an interconnected world*: Oxford University Press.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152.
- Comisión Nacional del Litio. (2015). *Litio: una fuente de energía, una oportunidad para Chile. Informe final*. Santiago de Chile: Ministerio de Minería Retrieved from [http://www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/4/2015/01/Informe-Final\\_Comision\\_Litio.pdf](http://www.mch.cl/wp-content/uploads/sites/4/2015/01/Informe-Final_Comision_Litio.pdf).
- Corden, W. M., & Neary, J. P. (1982). Booming sector and de-industrialisation in a small open economy. *The Economic Journal*, 92(368), 825-848.
- CORFO. (2018a). Comparado. Contratos 1993 vs Modificaciones 2018.
- CORFO. (2018b). Corfo - SQM firman acuerdo de conciliación y la modificación de los contratos.
- Corti, H. R. (2017). El litio en la tecnología nuclear. In E. Barran (Ed.), *Litio: un recurso natural estratégico desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas*. Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Cosbey, A. (2016). *Mining a Mirage?: Reassessing the Shared-Value Paradigm in Light of the Technological Advances in the Mining Sector*: International Institute for Sustainable Development.
- Cust, J., & Viale, C. (2016). Is there evidence for a subnational resource curse? *Policy Paper. Natural Resource Governance Institute*.
- David, A. P., & Wright, G. (1997). Increasing returns and the genesis of American resource abundance. *Industrial and Corporate Change*, 6(2), 203-245.
- Daza, W. G. I. (2017). Historia del extractivismo del litio en Bolivia. El movimiento cívico de Potosí y la defensa de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni (1987-1990). *RevllSE-Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 10(10), 173-188.
- Deutsche Bank. (2016). Welcome to the Lithium-ion Age. Sydney: Deutsche Bank AG.
- Dietsche, E. (2014). Diversifying mineral economies: conceptualizing the debate on building linkages. *Mineral Economics*, 27(2), 89-102.
- Edler, J. (2009). Demand policies for innovation in EU CEE

countries.

Edquist, C. (2005). Systems of innovation: perspectives and challenges. In J. Fagerberg, D. C. Mowery & R. R. Nelson (Eds.), *The Oxford handbook of innovation* (pp. 181-208). Oxford: Oxford University Press.

El Tribuno. (2018). La explotación del litio emplea 1700 personas en Jujuy. *El Tribuno*. from <http://camaramineradejujuy.com.ar/la-explotacion-del-litio-emplea-1-700-personas-en-jujuy/>

Energía Estratégica. (2015, 7 de enero). Investigadores argentinos desarrollaron una técnica para la extracción de litio, más efectiva y amigable con el medio ambiente, *Energía Estratégica*. Retrieved from [<http://www.energiaestrategica.com/investigadores-argentinos-desarrollaron-una-tecnica-para-la-extraccion-de-litio-mas-efectiva-y-amigable-con-el-medio-ambiente/>]

Flexer, V., Baspineiro, C. F., & Galli, C. I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of the Total Environment*, 639, 1188-1204.

FMC Corporation. (2018a). 2017 Annual Report.

FMC Corporation. (2018b). FMC Revises Operating Agreements in Argentina, Completing an Important Step Toward the Separation of Its Lithium Business. Retrieved 6 de junio de 2018, from <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=117919&p=irol-newsArticle&ID=2324852>

Fogarty, J. P., & Seibert, S. (1977). Difusión de tecnología en áreas de asentamiento reciente: el caso de Australia y de la Argentina. *Desarrollo Económico*, 133-142.

Fornillo, B. (2015a). "Del salar a la batería": política, ciencia e

industria del litio en la Argentina. In B. Fornillo (Ed.), *Geopolítica del Litio. Industria, Ciencia y Energía en Argentina* (pp. 57-89). Buenos Aires: Editorial El Colectivo.

Fornillo, B. (Ed.). (2015b). *Geopolítica del Litio. Industria, Ciencia y Energía en Argentina*. Buenos Aires: Editorial El Colectivo.

Freeman, C. (1987). *Technology and economic performance: lessons from Japan*. London: Pinder.

Galli, D. E. (2017). *Elementos y proyecciones sobre proyecto de litio*. Paper presented at the Desafíos y oportunidades de la industrialización del Litio en Argentina, San Salvador de Jujuy.

Garrett, D. E. (2004). *Handbook of lithium and natural calcium chloride*. Oxford: Elsevier.

Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 12(1), 78-104.

Gómez Sabaini, J. C., Jiménez, J. P., & Morán, D. (2015). El impacto fiscal de la explotación de los recursos naturales no renovables en los países de América Latina y el Caribe: Documentos de proyecto, CEPAL.

Halland, H., Lokanc, M., & Nair, A. (2015). *The Extractive Industries Sector: Essentials for Economists, Public Finance Professionals, and Policy Makers*: World Bank Publications.

Heum, P. (2008). Local Content Development: Experiences from oil and gas activities in Norway.

Hirschman, A. O. (1977). A generalized linkage approach to development, with special reference to staples. In M. Nash (Ed.), *Essays on economic development in honor of Bert F. Hoselitz*. Chicago: Chicago University Press.

- Houston, J., Butcher, A., Ehren, P., Evans, K., & Godfrey, L. (2011). The evaluation of brine prospects and the requirement for modifications to filing standards. *Economic Geology*, 106(7), 1225-1239.
- Jensen, M. B., Johnson, B., & Edward Lorenz, B. A. K. L. (2007). Forms of knowledge and modes of innovation. *Research Policy*, 36(5), 680-693.
- Kaplinsky, R., Farooki, M., Alcorta, L., & Rodousakis, N. (2012). *Promoting industrial diversification in resource intensive economies: The experiences of Sub-Saharan Africa and Central Asia regions*: United Nations Industrial Development Organisation.
- Kay, A. (2018, 24th January). Top Lithium-mining Companies. Retrieved 5 de mayo, 2018
- Landriscini, G., & Carignano, A. (2015). Hidrocarburos no convencionales en la Cuenca Neuquina en Argentina. Inversión, innovación y empleo. Una oportunidad para las PyMEs. *Pymes, Innovación y Desarrollo*, 3(1), 54-78.
- Lane, C., & Probert, J. (2009). *National capitalisms, global production networks. Fashioning the value chain in the UK, USA, and Germany*. Oxford: Oxford University Press.
- Lange, G.-M., Wodon, Q., & Carey, K. (2018). *The changing wealth of nations 2018: Building a sustainable future*: The World Bank.
- Lebedeva, N., Di Persio, F., & Boon-Brett, L. (2016). Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe. Petten: European Commission.
- Lederman, D., & Maloney, W. (2012). *Does what You Export Matter?: In Search of Empirical Guidance for Industrial Policies*: World Bank Publications.
- López, A. (Ed.). (2017). *Reporte Recursos Naturales y Desarrollo 2016/17. Industrias Extractivas y Desarrollo Sostenible*. Montevideo: Red Sudamericana de Economía Aplicada.
- Lorentzen, J. (2006). Lateral migration in resource-intensive economies: technological learning and industrial policy.
- Lorentzen, J. (2008). Knowledge intensification in resource-based economies.
- Lundvall, B.-Å. (Ed.). (1992). *National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter Publishers.
- Maennling, N. (2016). *Mining a Mirage*. Taller “El futuro de las industrias extractivas en América Latina y el Caribe y el rol de la ciencia, la tecnología y la innovación”, Buenos Aires. 21-22 de septiembre.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, 31(2), 247-264.
- Marín, A., Obaya, M., & del Castillo, M. (2016). Industrias extractivas siglo XXI, desafíos y posibilidades de transformación: los casos del litio en Argentina y el cobre en Chile. Montevideo, Documento de trabajo N°1. Red Sudamericana de Economía Aplicada.
- Martin, G., Rentsch, L., Höck, M., & Bertau, M. (2017). Lithium market research – global supply, future demand and price development. *Energy Storage Materials*, 6(Supplement C), 171-179.
- McKinnon, S. (2018, 1 de marzo). New lift for South West Talison Lithium plant, *The West Australian*. Retrieved from <https://thewest.com.au/business/lithium/new-lift-for-south-west-talison-lithium-plant-ng-b88761043z>
- MINEM. (2017a). Nuevo Acuerdo Federal Minero. República

- Argentina: Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina.
- MINEM. (2017b). Situación actual y perspectivas. Buenos Aires: Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina.
- Morris, M., Kaplinsky, R., & Kaplan, D. (2012). "One thing leads to another". Commodities, linkages and industrial development. *Resources Policy*, 37(4), 408-416.
- Nelson, R. (Ed.). (1993). *National systems of innovation: A comparative study*. Oxford: Oxford University Press.
- Nelson, R., & Wright, G. (1992). The rise and fall of American technological leadership: the postwar era in historical perspective. *Journal of Economic Literature*, 30(4), 1931-1964.
- Noreng, Ø. (2004). Norway: Economic diversification and the petroleum industry. *Middle East Economic Survey*, 47(45).
- Orocobre. (2018a). Quarterly Report of Operations for the Period Ended 31 March 2018 [<https://www.orocobre.com/?mdocs-file=4224>].
- Orocobre. (2018b). Strong December Quarter and a Step Change in Growth. [<https://www.orocobre.com/?mdocs-file=3627>].
- Pang, Q., Liang, X., Kwok, C. Y., & Nazar, L. F. (2016). Advances in lithium-sulfur batteries based on multifunctional cathodes and electrolytes. *Nature Energy*, 1(9), 16132.
- Pavlovic, P. (2014). *Aporte a la Comisión Nacional del Litio (Chile). Mesa Recursos y Salares*.
- Pérez Vidal, V. (2014). *Aporte a la Comisión Nacional del Litio (Chile). Mesa Recursos y Salares*.
- Pillot, C. (2016). *The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2015-2025*. Paper presented at the International Meeting on Lithium Batteries: IMLB 2016, Chicago.
- Pillot, C. (2017). *The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2016-2025*. Paper presented at the Advanced Automotive Battery Conference, San Francisco.
- Plataforma Energética. (2014). Litio en Bolivia: 50 años de estudios. *Plataforma Energética*, 4(12), 2-4.
- PROCOMER. (2014). Encadenamientos para la exportación.
- Rocca, G. (2017). El litio, cerca del cielo. Retrieved 17 de abril, 2018
- Sábato, J., & Botana, N. (1968). *La Ciencia y la Tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. Estudio Prospectivo sobre América Latina y el Orden Mundial en la Década del 1990*. Paper presented at the presentado en The World Order Models Conference, Bellagio, Italia.
- Sanders, M. (2017). *Lithium-Ion Battery Raw Material Supply and Demand 2016-2025*. Paper presented at the Advanced Automotive Battery Conference, San Francisco.
- Sasson, A., & Blomgren, A. (2011). Knowledge based oil and gas industry.
- Scott-Kemmis, D. (2013). *How about Those METS?: Leveraging Australia's Mining Equipment, Technology and Services Sector*: Minerals Council of Australia.
- Swain, B. (2017). Recovery and recycling of lithium: A review. *Separation and Purification Technology*, 172, 388-403.
- Tordo, S., & Anouti, Y. (2013). *Local Content Policies in the Oil and Gas Sector: Case Studies*: World Bank Publications.




- Tran, T., & Luong, V. T. (2015). Lithium production processes. In A. Chagnes & J. Światowska (Eds.), *Lithium Process Chemistry* (pp. 81-124). Amsterdam: Elsevier.
- U.S. Geological Service. (2017). Argentina Lithium Map. Data Sources and Explanatory Notes. Reston: US Geological Survey.
- U.S. Geological Service. (2018). Mineral commodity summaries 2018: U.S. Geological Survey.
- UNECA. (2011). *Minerals and Africa's development: the international study group report on Africa's mineral regimes*. Addis Ababa: Economic Commission for Africa and African Union.
- Urzúa, O. (2012). Emergence and development of knowledge-intensive mining services (KIMS): TUT Ragnar Nurkse School of Innovation and Governance.
- Urzúa, O., Wood, A., Iizuka, M., Vargas, F., & Baumann, J. (2016). Discovering new Public-Private Partnerships for Productive and Technological Development in emerging mining countries.
- Venables, A. J. (2016). Using natural resources for development: why has it proven so difficult? *The Journal of Economic Perspectives*, 30(1), 161-183.
- Vieyra, J. C., Masson, M., Walter, M., Quiroz, J. C., Manzano, O., Ross, M., Kyle, J. (2014). *Transparent Governance in an Age of Abundance: Experiences from the Extractive Industries in Latin America and the Caribbean*: Inter-American Development Bank.
- Ville, S., & Wicken, O. (2012). The dynamics of resource-based economic development: evidence from Australia and Norway. *Industrial and Corporate Change*, 1-31.
- Whitley, R. (1998). Internationalization and varieties of capitalism: the limited effects of cross-national coordination of economic activities on the nature of business systems. *Review of International Political Economy*, 5(3), 445-481.
- Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, 27(2), 185-203.

## ANEXO I

## ENTREVISTAS REALIZADAS DURANTE EL TRABAJO DE CAMPO

Apellido	Nombre	Posición	Organización
Altamira	Néstor	Director Nacional	Instituto Tecnológico Minero del SEGEMAR
Barraco	Daniel	Investigador	CONICET-FAMAF – Universidad Nacional de Córdoba
Bunel	Emilio	Gerente de Innovación	SQM
Caffe	Pablo	Profesor/Investigador	Instituto de Geología y Minería - UNJU
Calvo	Ernesto	Investigador	CONICET-INQUIMAE- Universidad de Buenos Aires
Cuburu	Carlos	Secretario Ejecutivo	SEGEMAR
Damiano	Claudio	Responsable de Normas Regulatorias	Ente Nacional Regulador de la Electricidad
Elortegui Palacios	Javier	Profesor/Investigador	Instituto de Geología y Minería - UNJU
Flexer	Victoria	Investigadora	CIDMEJU
Galli	Daniel	Director Profesor	Norlab UNJU
Gómez	José		INTI - Jujuy
Marquina	Eduardo	Director Nacional	Instituto Tecnológico Minero del SEGEMAR
Mignacco	Franco	Presidente	Minera Exar
Oehler	Carlos	Presidente	JEMSE
Palomares	José María		Jujuy Lito
Ríos Gómez	Julio	Presidente	SEGEMAR
Roca	Alejandro	Asesor	SEGEMAR
Rosales	Gustavo	Investigador	CONICET-Universidad Nacional de Cuyo
Sacerdote	Santiago	Gerente General	Y-TEC
Sánchez <sup>129</sup>	Carolina		INTI - Jujuy
Serrano	Miriam	Secretaría	Secretaría de Ciencia y Técnica de Jujuy
Simone	Héctor	Presidente	CIDMEJU
Soler	Miguel	Secretario	Secretaría de Minería e Hidrocarburos de Jujuy
Spadillero	Bruno	Director	Clorar
Visintin	Aldo	Director Organizador Investigador	CIDMEJU INIFTA
Vitali	Federico	Presidente	FIB-FAAM
Zacur	José Luis	Profesor/Investigador	UNJU
Zappettini	Eduardo	Director	Instituto de Geología y Recursos Minerales del SEGEMAR

 **129** Durante el proceso de elaboración del informe, Carolina Sánchez fue nombrada como Secretaria de Política Minera, del Ministerio de Producción de la República Argentina.

## ANEXO II

## PROYECTOS DE LITIO EN DESARROLLO EN LA ARGENTINA

Categoría	Estado de desarrollo	Provincia	Mercancía mineral	Empresa operadora (operadora principal/ propietario – subrayado–; otros propietarios – entre paréntesis o corchetes–)	Nombre de proyecto	Nombre del salar	Licencia mineral Áreas disponibles	Área total de la tierra (hectáreas (ha); acres; km <sup>2</sup> ; millas <sup>2</sup> )	Reporte técnico disponible y fecha
A-Operación/ Producción/ Exploración avanzada (salares)	En operación/ producción	Jujuy	Litio, potasio	<u>Sales de Jujuy S.A</u> (Orocobre S.A., Toyota Tsusho Corp., y JEMSE)	Salar de Olaroz (también conocido como Litio de Olaroz)	Salar de Olaroz	Sí- En reporte técnico	63.000 ha./ ~156,000 acres/630 km <sup>2</sup> /243 millas <sup>2</sup>	NI 43-101: fechado 01/31/12 en el sitio web de Orocobre Ltd.'s
	En operación/ producción	Catamarca	Litio	FMC Lithium Corp.	Mina Fénix (Phoenix Mine)	Salar del Hombre Muerto	No disponible	30.000 ha/ ~74.000 acres/ 300 km <sup>2</sup> / 116 millas <sup>2</sup>	No disponible
	En operación/ producción - planta piloto. En construcción: 2017: preparación del sitio, construcción del campamento; construcción de estanque, instalación de campo de pozos; 2018: construcción de planta; 2019: puesta en marcha y primera producción	Salta	Litio, potasio	ENIRGI Group Corp.	Planta DXP, Salar del Rincón	Salar del Rincón	NA; se requiere más investigación		
	Exploración avanzada	Jujuy	Litio, potasio	<u>Lithium Americas Corp.</u> (opera como <u>Minera Exar</u> ), JEMSE, SQM	Caucharí-Olaroz	Salar de Caucharí	Sí- en su sitio web	70.000 ha/ 173.000 acres/ 700km <sup>2</sup> / 270 millas <sup>2</sup>	NI 43-101; fechado 7/11/2012 en el sitio web de Lithium America
	Exploración avanzada	Salta	Litio	LSC Lithium Corp. (Antes LitheA Inc.)	Salar de Pozuelos	Salar de Pozuelos	Por definir: reclamos competitivos en el área o compra poco clara de propiedades de arrendamiento	30000 ha (99% del salar)/~75.000 acres/ 300 km <sup>2</sup> /116 millas <sup>2</sup>	NI 43-101; 12/31/16
	Factibilidad del estudio	Catamarca	Litio, potasio	Ltd.	Sal de Vida	Salar del Hombre Muerto	No disponible; se requiere más investigación		
	preliminares	Salta	Litio, potasio	<u>Lithium-X Energy Corp.</u> (80%) Aberdeen International Inc (20%)	Sal de Los Angeles	Salar de Diablillos	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración avanzada	Jujuy	Litio, potasio	<u>Advantage Lithium Corp.</u> (50-75%) y Orocobre Ltd.	Caucharí	Salar de Caucharí	Sí- En el reporte técnico de Orocobre Ltd. y en el sitio web de Lithium Corp	27.771 ha / 68.623 acres/ 278 km <sup>2</sup> / 107 millas <sup>2</sup>	NI 43-101; FECHADO 22/09/17 en el sitio web de Orocobre Ltd.
	Exploración avanzada	Salta	Litio	Eramet	Salar de Centenario Ratones	Salar de Ratones	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración avanzada	Salta	Litio	International Lithium comparte proyecto con Jiangxi Ganfeng Lithium Co. Ltd.	Mariana I, II, y III	Salar de Lullailaco	No disponible; se requiere más investigación		
A-Operación/ Producción/ Exploración avanzada (salares)	Exploración avanzada	Salta	Litio, potasio	Lithium Power International	Centenario	Salar de Centenario	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración avanzada	Salta	Litio	Everlight Resources	Gallego Project	Salar de Hombre Muerto	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración avanzada	Salta y Catamarca	Litio, potasio	Advantage Lithium Corp., Albemarle Corp., y Bolland International	Antofalla	Salar de Antofalla	Sí- en el sitio web	13.654 ha/ ~33.740 acres/ 137 km <sup>2</sup> / 52 millas <sup>2</sup>	No disponible

Categoría	Estado de desarrollo	Provincia	Mercancía mineral	Empresa operadora (operadora principal/ propietario – subrayado–; otros propietarios – entre paréntesis o corchetes–)	Nombre de proyecto	Nombre del salar	Licencia mineral Áreas disponibles	Área total de la tierra (hectáreas (ha); acres; km²; millas²)	Reporte técnico disponible y fecha
B- Exploración/ exploración temprana/ prospección (salares)	Exploración	Jujuy	Litio, potasio, boro	Advantage Lithium Corp.	Guayatayoc	Laguna de Guayatayoc	Sí, en el sitio web	21.276 ha/ ~52,574 acres/ 213 km² / 82 millas²	No disponible
	Exploración	Salta	Litio	Advantage Lithium Corp.	[Post Marys transacción con LSC Lithium Corp.]	Salar de Salinas Grandes	Zona que abarca reclamos existentes bajo acuerdos de regalías	33,619 ha/ ~83,052 acres/ 335 km²/ 130 miles²	No disponible
	Exploración	Salta	Litio	Cascadero Copper Corp.	Guadelquivir	Salar de Río Grande	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración	Salta	Litio	Grosso Group	Salar de Arizaro	Salar de Arizaro	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración	Salta	Litio	Lithium X Energy Corp.	Salar de Arizaro 2	Salar de Arizaro	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración	Salta	Litio, potasio	Orocobre (85%)	Salinas Grandes	Salar de Salinas Grandes	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración	Salta	Litio	PepinNini Minerals Ltd.	Proyecto Arizaro	Salar de Arizaro	Sí, en su sitio web	12 arrendamientos mineros de tenencia continua 26.355 ha/ 65.125 acres/ 264 km² 102 millas²	
	Exploración temprana	Salta	Litio, potasio	Advantage Lithium Corp.	Salar del Incahuasi	Salar de Incahuasi	Sí, en su sitio web	9.843 ha/ 24.320 acres/ 98 km²/ 38 millas²	
	Exploración temprana	Salta	Litio	Argosy Mineral Ltd.	Salar del Rincón	Salar del Rincón	Sí, en su sitio web	2.345 ha/ 5.800 acres/ 24 km²/ 9 millas² /	
	Exploración temprana	Salta	Litio, potasio	Lithium Americas Corp. SQM	Arizaro	Salar de Arizaro	No disponible; se requiere más investigación		
(continuación) B- exploración temprana/ prospección (salares)	Exploración temprana	Salta	Litio, potasio	Lithium Americas Corp. y SQM	Pocitos	Salar de Pocitos	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración temprana	Jujuy	Litio, potasio	Orocobre Ltd. joint venture con Toyota	Cangrejillos	Salar de Salinas	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Jujuy	Litio, potasio, boro	Dajin Resources Corp./ Delta Mutual Inc.	Navidad	Salar de Salinas Grandes (parte de la Laguna de Guayatayoc)	Disponible en su sitio web	25 concesiones, incluyendo los proyectos de Navidad y San José. Las tenencias totales de tierra son considerablemente mayores a los dos proyectos listados por el Ministerio en los reportes. 93,000 ha/ ~230.000 acres/ 930 km²/ 360 millas²	No disponible
	Prospección	Jujuy	Litio, potasio, boro	Lithium Exploration Group Inc.	San José	Salar de Salinas Grandes	No disponible		
	Prospección	Salta	Litio, potasio	LSC Lithium Corp.	Río Grande	Salar de Río Grande	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Jujuy	Litio, potasio	LSC Lithium Corp.	Jama	Salar de Jama	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Salta	Litio, potasio	LSC Lithium Corp.	Pastos Grandes	Salar de Pastos Grandes	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Jujuy y Salta	Litio, potasio	LSC Lithium Corp. y Dajin Resources Corp.	Cangrejillos	Salar de Salinas	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Salta	Litio, potasio	Millennial Lithium	Pastos Grandes	Salar de Pastos Grandes	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Salta	Litio	Minera Pastos Grandes S.A. y Southern Lithium	Cruz	Salar de Pocitos	No disponible; se requiere más investigación		

Categoría	Estado de desarrollo	Provincia	Mercancía mineral	Empresa operadora (operadora principal/ propietario – subrayado–; otros propietarios –	Nombre de proyecto	Nombre del salar	Licencia mineral Áreas disponibles	Área total de la tierra (hectáreas (ha); acres; km²; millas²)	Reporte técnico disponible y fecha
(continuación) B- Exploración/ exploración temprana/ prospección (salares)		Catamarca	Litio, potasio	Neo Lithium Corp. (antes Power One Capital Markets Ltd (POCML) 3 Inc.)	Tres Quebradas (3Q)	Laguna de Tres Quebradas	Sí-reporte técnico disponible en el sitio web	35.000 ha/ 86,500 acres/ 350 km²/ 135 millas²	NI 43-101 reporte disponible en el sitio web de la empresa
	Prospección	Catamarca	Litio, potasio	NRG Metals Inc.	Carachi Pampa	Salar Carachi-Pampa	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Salta	Litio, potasio	PepinNini Minerals Ltd.	Salar de Pular	Salar de Pular	Sí, en el sitio web	12 arrendamientos mineros con tenencia continua 26,355 ha/ 65,125 acres	No encontrado
	Prospección	Salta	Litio	Pure Energy Minerals Ltd.	Terra Cotta/ Salar de Pocitos	Salar de Pocitos	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	La Rioja	Litio	Trans Pacific Minerals Corp.	La Mula	Laguna de Mulas Muertas	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Salta	Litio, potasio	Trendix Mining SRL	Trollar	Salar de Trollar	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Salta	Litio	Ultra Lithium Inc. y Jinishan Minera Argentina S. A	Sal Arizaro	Salar de Arizaro	No disponible; se requiere más investigación		
	Exploración	Jujuy	Litio, potasio, boro	A.I.S Resources Ltd. (Guayatayoc)	Laguna Vilama	Laguna Vilama	Sí, del reporte técnico	2.500 ha/ 6.177 acres/ 25 km²/ 10 millas²	Reporte NI-43-101 combinado para Laguna Vilama, Guayatayoc, y Guayatayoc III
	Exploración	Jujuy	Litio, potasio, boro	A.I.S Resources Ltd. (Guayatayoc)	Guayatayoc y Guayatayoc III	Laguna de Guayatayoc/ Salar de Salinas Grandes; entre las concesiones de Dajin Resources Corp./ Lithium S Corp.		a) 2.500 ha/ 6.177 acres/ 25 km²/ 10 millas² y b) 2.725 ha/ 6.733 acres/ 27 km²/ 11 millas²	
	(continuación) B- Exploración/ exploración temprana/ prospección (salares)	Exploración	Cat	Litio	Lake Resources N.L. (LKE), operando a través de la subsidiaria argentina Morena del Valle Minerals S.A	Kachi Lithium brine project	Cerca del Salar de Antofalla	No	50.000 ha/ 123,500 acres/ 500 km²/ 193 millas²
Exploración		Catamarca	Litio	Lithium Energy Exploration Inc. (antes Portola Resources Inc.). La empresa tiene tres subsidiarias operando en Argentina 1. Lithium Energy Argentina S.A. 2. Antofalla North S.A. 3. Antofalla South S.A.	Lithium Energy Argentina S.A. = Laguna Caro Project  Antofalla North S.A.= Antofalla North Project  Antofalla South S.A.= Antofalla South Project	Laguna Caro y Salar de Antofalla, ambas en el sudoeste de la planta de producción FMC Lithium Corp en el Salar de Hombre Muerto. Los proyectos de Antofalla North y South están alrededor de Albemarle Corp	No	128,367 ha para 3 áreas/ 317,202 acres/ 1,284 km²/ 500 millas²	No
Prospección		Catamarca	Litio	Portofino Resources Inc.	Del Cóndor/ Pucara	Salar de Hombre Muerto	No	1.804 ha/ 4.460 acres/ 18 km²/ 7 millas²	No disponible
Prospección		Catamarca	Litio	Portofino Resources Inc.	"Project II"	Entre el proyecto Neo Lithium Corp. 3Q en Tres Quebradas y Salar de Antofalla	No	3.900 ha/ 9.640 acres/ 39 km²/ 15 millas²	No disponible

Categoría	Estado de desarrollo	Provincia	Mercancía mineral	Empresa operadora (operadora principal/ propietario – subrayado–; otros propietarios –	Nombre de proyecto	Nombre del salar	Licencia mineral Áreas disponibles	Área total de la tierra (hectáreas (ha); acres; km²; millas²)	Reporte técnico disponible y fecha
C- Prospección (pegmatitas)	Prospección	Salta	Litio	Centenera Mining Corp.	El Quemado	Distrito Pegmatítico El Quemado			
	Prospección	San Luis	Litio	Dark Horse Resources	Mina Las Cuevas	Distrito Pegmatítico Conlara	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Córdoba	Litio	Dark Horse Resources	Mina Las Tapias	Distrito Pegmatítico Altautina	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	San Luis	Litio	Latin Resources Ltd. y Lepidico Ltd.	La Estanzuela-Conlara	Distritos Pegmatíticos La Estanzuela y Conlara	No disponible; se requiere más investigación		
	Prospección	Catamarca	Litio	Latin Resources Ltd. y Lepidico Ltd.	Vilisman Ancasti	Distrito Pegmatítico Ancasti	No disponible; se requiere más investigación		

Fuente: U.S. Geological Service (2017).

## ANEXO III COMUNICADO DE PRENSA DEL GRUPO K.R.ENERGY S.P.A. SOBRE "LA CARTA DE INTENCIÓN DE JEMSE"<sup>130</sup>


In data 10 novembre 2017 FIB S.r.l. ("FIB") ha prorogato sino al 31 dicembre 2017 la lettera di intenti, stipulata in data 8 maggio, regolata dalla legge della Repubblica Argentina (la "Lettera") con Jujuy Energia Y Minería S.E. ("JEMSE") avente ad oggetto la costituzione di una società al fine di realizzare la costruzione di un complesso modulare industriale (il "Compleso"), sito nella Provincia di Jujuy (Argentina), per la fabbricazione di materiali attivi, celle al litio e sistemi e/o dispositivi elettrici che utilizzano batterie di questo tipo.

Ai sensi della Lettera JEMSE ha dichiarato di (i) contribuire con la costituenda società a creare fino al 60% del valore del capitale per determinare la versione definitiva del business plan, nonché (ii) negoziare con l'amministrazione della Provincia di Jujuy lo sviluppo e l'implementazione di programmi provinciali per l'utilizzo dei beni da produrre nel Compleso e l'ottenimento di un terreno necessario per la costruzione del Compleso.

FIB ha manifestato il proprio interesse a valutare, qualora ne ricorrano le condizioni, eventuali apporti (in natura mediante trasferimento di know-how) alla società da costituirsi.

Nella proroga è previsto che JEMSE chieda alle autorità competenti della autorità competenti della Provincia di Jujuy, che venga riconosciuto alla costituenda società co-partecipata tra JEMSE - FIB un diritto di priorità per acquisire fino al 5% della produzione annua di carbonato di litio estratto da Sales de Jujuy S.A. da destinare a fini industriali.

Sono in corso negoziazioni per definire un accordo quadro in base al quale lo sfruttamento del carbonato di litio potrà essere utilizzato nel Compleso sia all'interno che all'esterno del territorio provinciale di Jujuy. Nell'ambito del progetto è previsto che la partecipazione di JEMSE nelle Americhe sarà pari al 60% e il restante 40% sarà in capo FIB, mentre in Europa la partecipazione delle parti sarà al 40% JEMSE e al 60% FIB, nel resto del mondo, la partecipazione sarà uguale tra le parti.

  
**130** Disponibile en <http://www.krenergy.eu/index.php/2017comunicati?view=download&id=680>.

# ANEXO IV PRINCIPALES HITOS DE LA HISTORIA DEL DESARROLLO DEL LITIO EN CHILE

Año	Hito	Normativa/ Contratos / Convenios	Actores
1975	Se suscribe un convenio básico para evaluar los recursos del litio y la factibilidad de un proyecto de explotación.	Convenio Básico entre CORFO y Foote Mineral Co.	CORFO y Foote Mineral Co
1976	Se dicta la primera normativa legal referente al litio, incluida como sustancia de interés nuclear.	Ley Orgánica de la Comisión Chilena de Energía Nuclear CChEN.	CChEN
1977	Se crea el Programa Sales Mixtas. Inscripción a favor de CORFO de las pertenencias mineras del Salar de Atacama denominadas OMA 1 al 59.820.	Concesión Minera OMA 1 al 59.820.	CORFO
1979	Se establece la reserva del Estado sobre el litio, exceptuando el litio existente en pertenencias mineras constituidas o en trámite de constitución antes del 1 de enero de 1979, condición en que se encontraba la propiedad minera de CORFO en el salar de Atacama y las de CODELCO en los salares de Pedernales y Marincunga. Se otorga a la CChEN la facultad de autorizar la explotación del litio.	Decreto Ley N° 2886/1979  Ley N°16.319.	CORFO, CODELCO y CChEN
1980	Se firman contratos que dieron origen a la Sociedad Chilena de Litio Ltda. (SCL) entre Foote (55%), que aportó la tecnología, y CORFO (45%), que transfirió un área de concesión del Salar de Atacama. Se le otorgó a SCL el derecho, validado por la CChEN, para producir y vender litio.	Contrato entre Foote Mineral Co y CORFO.	SCL (Foote Mineral Co)
1982	Se declara al litio como sustancia no susceptible de concesión minera.	Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras N° 18.097.	Estado
1983	Se reitera lo ya dispuesto en la Ley Orgánica Constitucional sobre Concesiones Mineras N° 18.097, respecto de que el litio no es susceptible de concesión. Para el aprovechamiento del litio hay que atenerse a las disposiciones de los Artículos 19 N° 24 de la Constitución Política y del Art. 8 del Código de Minería, donde se establece que la exploración y/o explotación de sustancias calificadas como no susceptibles de concesión minera podrán ejecutarse directamente por el Estado o por sus empresas o por medio de concesiones administrativas o de contratos especiales de operación otorgados a privados.	Código de Minería de 1983 (Ley N°18.248).	Estado, sus empresas y/o privados con concesiones administrativas o contratos especiales
1984	Se inicia la producción de carbonato de litio	Proyecto Litio.	SCL
1985	Se firma el contrato con SCL. Este contrato no establecía rentas de arrendamiento para la explotación del litio, ya que CORFO había capitalizado su aporte en la compañía, ni tampoco un plazo cierto de vencimiento, salvo lo necesario para consumir la cuota.	Contrato entre SCL y CORFO.	SCL y CORFO
1986	Se forma la Sociedad Minera Salar de Atacama Ltda. (Minsal), con CORFO (25%), la minera estadounidense Amax (63,75%) y la chilena Molymet (11,25%). Vigencia de 33 años, con un pago de royalty con forma de canon de arrendamiento (6,8%) y una producción fija y venta máxima de 180.100 tn de litio.	Contrato para Proyecto en el Salar de Atacama y Contrato de Arrendamiento de las pertenencias OMA <sup>131</sup> seleccionadas.	Minsal (CORFO, Amax, Molymet)
1987	Se autoriza la producción de sales de potasio a SCL. Pago de una regalía de 2% durante los siguientes 6 años y del 3% a partir del séptimo año.		SCL y CORFO
1989	CORFO vende su 45% de participación en SCL a su socio Foote Mineral Co.	Se suscribe una modificación al Convenio Básico así como al Pacto Social de SCL.	SCL y Foote Mineral Co

<sup>131</sup> Entre 1976-1977 CORFO constituyó derechos sobre un total de 59.820 pertenencias Mineras en el Salar de Atacama (299.100 hectáreas) denominadas "OMA".



Año	Hito	Normativa/ Contratos / Convenios	Actores
1992/1993	Amax vende su participación en Minsal a SQM, paso que posteriormente siguió Molymet. CORFO entrega a esta sociedad en arriendo exclusivo las 16 .384 pertenencias seleccionadas por todo el periodo de vigencia del contrato (hasta 31 de diciembre de 2030). SQM se convierte en el socio mayoritario (75%) y CORFO queda con un 25%.	Modificación del contrato del Proyecto Salar de Atacama y de los estatutos de Minsal Ltda. y nuevo Contrato de Arrendamiento entre Minsal y CORFO.	Minsal (CORFO y SQM)
1994	CORFO y SQM acuerdan un aumento de capital-SQM 81,82% y CORFO 18,18%- Minsal de transforma en SA.		Minsal (CORFO y SQM)
1995	SQM inicia proyecto con la construcción de una planta de cloruro de potasio de 300.000 tn anuales. Adquiere la totalidad de las acciones de CORFO en Minsal.		SQM y Minsal S.A. (hoy SQM Salar S.A.)
1996	SQM comienza la producción de carbonato de litio con una capacidad inicial de 17.500 tn anuales.		SQM
1998	SQM pone en funcionamiento las plantas de sulfato de potasio y ácido bórico. SCL inicia la producción de cloruro de litio con una capacidad de 3.600 tn anuales a partir de carbonato de litio y ácido clorhídrico La compañía alemana Chemetall ingresa a la propiedad de Foote Minerals.		SQM y SCL Chemetall
1998/2002	SQM expande su capacidad en las plantas de carbonato de litio y cloruro de potasio.		SQM
2001/2002	SQM y SCL crean SALMAG Ltda. (en partes iguales) para comercializar sales de magnesio (bischofita).		SQM y SCL
2004	Chemetall es comprada por Rockwood Holding Inc. (Estados Unidos)		Rockwood
2005	SQM inicia operaciones en su planta de hidróxido de litio con capacidad 6 mil tn/año.		SQM
2008	SQM solicita ampliar su producción autorizada de 180.100 tn hasta 1 millón. La CChEN no accede a la petición.		SQM y CChEN
2008/2012	SQM expande la capacidad de la planta de carbonato de litio de 30 mil tn/año a 48 mil tn/año.		SQM
2012	Cambio de razón social de Sociedad Chilena del Litio a Rockwood Litio Ltda.		Rockwood Litio Ltda.
2013	Se inician acciones judiciales por incumplimientos de SQM a los contratos suscritos oportunamente.		Estado y SQM
2014	Se crea la Comisión Nacional del Litio. En mayo se inicia el primer arbitraje entre CORFO y SQM por divergencias en la ejecución del contrato de arrendamiento del Salar de Atacama.		del Litio. CORFO y SQM
2015	Albemarle compra Rockwood Holding Inc.		Albemarle
2016	Albemarle amplía su capacidad de extracción de salmuera a 442 litros por segundo. Se modifica el contrato con Albemarle, fijando como fecha de término el año 2043. En agosto CORFO formalmente inicia un segundo arbitraje con SQM por el proyecto Salar de Atacama. En septiembre SQM formalmente inicia una demanda en contra de CORFO por el período completo de la ejecución del Contrato.		Albemarle. SQM. CORFO
2018	En enero, CORFO y SQM firman acuerdo de conciliación y las modificaciones a los contratos de arrendamiento y de proyectos. En marzo se autoriza a Albemarle a ampliar su cuota de producción a 120.000/140.000 tn anuales gracias a innovaciones que permiten elevar la producción sin mayor extracción de agua y salmuera.		CORFO y SQM Albemarle.

Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Minería (2015), CORFO (2018a) y presentaciones de SQM (Octubre 2016) y Comisión Investigadora del Litio (Junio 2016).

# ANEXO V PRINCIPALES HITOS DE LA HISTORIA DEL DESARROLLO DEL LITIO EN BOLIVIA

Año	Hito	Normativa	Actores
1985	Creación del Complejo Industrial de los Recursos Evaporíticos del Salar de Uyuni (CIRESU)	Ley 719.	CIRESU (empresa pública conformada por el Estado y entidades y organizaciones sociales potosinas)
1985	Reformas legales y ofrecimiento para la explotación del Salar de Uyuni a empresa privada (Lithco).		Estado y Lithco.
1989	Borrador de contrato entre Lithco y Estado, que comprometía la explotación y exportación de concentrados de las salmueras del Salar de Uyuni. Posteriormente el mismo queda sin efecto.		Comité Cívico de Potosí (entidad cívica compuesta por representantes de diferentes instituciones del departamento respectivo y creada en 1976) y Estado.
1992/ 1993	Licitación pública que culmina en un nuevo contrato. La firma ganadora (FMC) luego renuncia al contrato.		Estado y FMC (ex Lithco)
1998	Declaratoria que redujo la zona de reserva fiscal a 1.344.000 hectáreas, permitiendo a particulares adjudicarse 77.025 hectáreas de la cuenta del Río Grande.	Ley 1.854 – Ley Valda.	Estado y privados
2007	Presentación de una propuesta de industrialización de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni a cargo del Estado, sin la participación de empresas transnacionales. Asumida como política de Estado.		
2007	Restitución a la COMIBOL de las atribuciones de exploración, explotación, industrialización, comercialización y administración de las reservas fiscales mineras.	Ley 3.720.	Estado y COMIBOL
2008	Creación de un ente ejecutor, dependiente de la COMIBOL, encargado de las tareas de exploración, explotación, industrialización y comercialización de los productos derivados de las salmueras, con una asignación de un presupuesto inicial de USD 5,7 mn para la ejecución de un proyecto piloto.	DS. 29.496.	Ente ejecutor dependiente de la COMIBOL
2008	Aprobación del proyecto de una planta piloto y creación de la Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia.	Resolución de Directorio de la COMIBOL N°380.	Dirección Nacional de Recursos Evaporíticos de Bolivia - COMIBOL
2010	Creación de la GNRE. Presentación de la Estrategia Nacional de industrialización de los Recursos Evaporíticos de Bolivia, para la extracción, la industrialización y la comercialización del litio, potasio, materiales catódicos y baterías eléctricas de ion litio, estrategia que debe ser ejecutada únicamente bajo conducción nacional y que prevé la participación económica de las empresas privadas únicamente para la tercera, y última, fase, es decir, la producción de baterías y materiales catódicos.	Resolución de Directorio N°4366/2010.	Estado y GNRE
2010	Declaración de la importancia estratégica del aprovechamiento de los recursos evaporíticos exclusivamente por parte del Estado Plurinacional de Bolivia. Se decreta la creación de la Empresa Boliviana de Recursos Evaporíticos– EBRE (la norma fue luego derogada por disputas inter-regionales).	DS. 444.	Estado, FRUTCAS, Comité Cívico de Potosí, COMIBOL
2017	Creación del Ministerio de Energías y, dentro su estructura, del Viceministerio de Altas Tecnologías Energéticas (Litio, Energía Nuclear).	DS. 3058.	Ministerio de Energías (Estado)
2017	Creación de la Empresa Pública Nacional Estratégica YLB, en sustitución de la GNRE.	Ley N° 928.	Estado e YLB
2017	Reglamentación del funcionamiento de YLB en el marco de los alcances establecidos en la Ley 928. A partir del mes de julio se inició la transición y transformación de la GNRE en YLB.	D.S. 3227.	Estado e YLB

Fuente: elaboración propia en base a Calla Ortega et al. (2014) e información provista por YLB en su sitio web ([www.ylb.gob.bo](http://www.ylb.gob.bo)).



---

# LITIO EN LA ARGENTINA



Oportunidades y desafíos para el desarrollo de

## LA CADENA DE VALOR

---