LITIO EN SUDAMÉRICA

Geopolítica | Energía | Territorios

Bruno Fornillo
(coordinador)

Melisa Argento
Martina Gamba
Martín Kazimierski
Florencia Puente
Gustavo Romeo
Elaine Santos
Ariel Slipak
Santiago Urrutia
Julián Zicari

Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe
Facultad de Ciencias Sociales | Universidad de Buenos Aires
IEALC

Editorial El Colectivo

CLACSO

Litio en Sudamérica
Geopolítica, energía y territorios

Bruno Fornillo (coordinador)

Colección
Chico Mendes

Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe
Facultad de Ciencias Sociales | Universidad de Buenos Aires
IEALC

Editorial El Colectivo

CLACSO

Buenos Aires, 2019

Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios / Bruno Fornillo [et al.] Coordinación general de Bruno Fornillo. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: El Colectivo; CLACSO; IEALC - Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe, 2019.

320 p. ; 22 x 15 cm. (Colección Chico Mendes)
ISBN 978-987-47280-0-5

1. Geopolítica. I. Fornillo, Bruno, coord.
CDD 327.101

Coordinación: **Natalia Revale**
Diseño de tapa: **Alejandra Andreone**
Corrección: **Julieta Santos**
Diagramación: **Francisco Farina**

Editorial El Colectivo
Web: www.editorialelcolectivo.com
Correo: contacto@editorialelcolectivo.com
Facebook: Editorial El Colectivo
Twitter: @EditElColectivo
IG: @EditorialElColectivo

El libro *El litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios* contó con el apoyo y aval del Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe de la Universidad de Buenos Aires (IEALC-UBA) y, a su vez, del Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO).

Copyleft

Esta edición se realiza bajo la licencia de **uso creativo compartido** o **Creative Commons**. Está permitida la copia, distribución, exhibición y utilización de la obra bajo las siguientes condiciones:

Atribución: se debe mencionar la fuente (título de la obra, autor/a, editorial, año).

No comercial: se permite la utilización de esta obra con fines no comerciales.

Mantener estas condiciones para obras derivadas: sólo está autorizado el uso parcial o alterado de esta obra para la creación de obras derivadas siempre que estas condiciones de licencia se mantengan para la obra resultante.

CLACSO
Consejo Latinoamericano
de Ciencias Sociales
Conselho Latino-americano
de Ciências Sociais

CLACSO - Secretaría Ejecutiva

Karina Batthyány - Secretaria Ejecutiva
Nicolás Arata - Director de Formación y Producción Editorial
Lucas Sablich - Coordinador Editorial

LIBRERÍA LATINOAMERICANA Y CARIBEÑA DE CIENCIAS SOCIALES
CONOCIMIENTO ABIERTO, CONOCIMIENTO LIBRE

Los libros de CLACSO pueden descargarse libremente en formato digital o adquirirse en versión impresa desde cualquier lugar del mundo ingresando a **www.clacso.org**.ar/libreria-latinoamericana

ISBN
© Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales | Queda hecho el depósito que establece la Ley 11723.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su almacenamiento en un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia u otros métodos, sin el permiso previo del editor. La responsabilidad por las opiniones expresadas en los libros, artículos, estudios y otras colaboraciones incumbe exclusivamente a los autores firmantes, y su publicación no necesariamente refleja los puntos de vista de la Secretaría Ejecutiva de CLACSO.

CLACSO
Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales - Conselho Latino-americano de Ciências Sociais
Estados Unidos 1168 | C1023AAB Ciudad de Buenos Aires | Argentina
Tel [54 11] 4304 9145 | Fax [54 11] 4305 0875 | <clacso@clacsoinst.edu.ar> | <www.clacso.org>

Patrocinado por la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional Asdi

Índice

Prefacio: La vida en la tierra y el litio
Martina Gamba 9

A modo de introducción: antropoceno, litio y transiciones
Grupo de Estudio en Geopolítica y Bienes Comunes 15

PARTE 1. LA ESFERA GLOBAL

Transición energética, principios y retos: la necesidad de almacenar energía y el potencial de la batería ion-litio
Martín Kazimierski 25

-Transformando el "metabolismo energético mundial" 27
-Almacenamiento energético, el gran desafío
-Hacia un sistema descentralizado e inteligente 40
-Reflexiones sobre una transición energética desde la óptica sudamericana 44

El mercado mundial del litio y el eje asiático. Dinámicas comerciales, industriales y tecnológicas
Julián Zicari, Bruno Fornillo y Martina Gamba 51

-La dinámica mundial del litio como recurso primario 53

-El consumo del litio y la dinámica industrial-tecnológica 62
-Investigación e innovación ligadas al litio a escala global 68
-China, nueva energía y mercado automotriz 73
-El mercado global del litio de Norte a Sur 75

PARTE 2. VISIÓN INTEGRAL DEL "TRIÁNGULO DEL LITIO"

Historias de la extracción, dinámicas jurídico-tributarias y el litio en los modelos de desarrollo de Argentina, Bolivia y Chile
Ariel M. Slipak y Santiago Urrutia Reveco 83
-Condiciones de inicio en el "Triángulo del litio": ¿recurso estratégico? 84
-Las políticas extractivas tras el *boom* del litio 103
-Más allá y más acá de la economía: Modelos de desarrollo 122

Política, ciencia y energía en el "Triángulo del litio"
Bruno Fornillo y Martina Gamba 133
-La emergencia histórica del litio como problema en el "Triángulo del litio" 135
-Tecnología y extracción de litio: organicidad, insularidad y privatización 141
-Materiales activos: política estratégica, nacional y provincial 147
-Industria y comercialización de baterías 152
-Conjunción y disyunción de las esferas: política, industria y ciencia 160

Entre el *boom* del litio y la defensa de la vida. Salares, agua, territorios y comunidades en la región atacameña
Melisa Argento y Florencia Puente 173
-Una región atacameña. Derecho indígena y expansión minera. Territorios en disputa 175
-Los tres tiempos del litio. Matrices de desarrollo, dinámicas territoriales y repertorios de acción colectiva 186

-Escenarios políticos y conflictividad actual en los territorios de la fiebre del litio 200

-Naturaleza, economía, comunidades: reflexiones para una articulación 211

PARTE 3. PROBLEMÁTICAS CENTRALES: LA CUESTIÓN SOCIO-AMBIENTAL Y LA PROYECCIÓN SUDAMÉRICANA

Riesgo ambiental e incertidumbre en la producción del litio en salares de Argentina, Bolivia y Chile
Gustavo Romeo 223

-Minería del agua, posibilidad de fiscalización y técnica de extracción como amenaza 225

-Agua dulce para el agua salada 233

-Racionalidad de los estudios ambientales previos, el conocimiento privatizado y el principio precautorio como directriz de decisiones 244

-"Para el que mira sin ver, la tierra es tierra nomás" 252

El mapa estratégico del litio en Brasil
Elaine Santos, Ariel M. Slipak y Bruno Fornillo 261

-El tratamiento del litio en Brasil. Un panorama 263

-¿Electromovilidad brasileña? Análisis de las políticas públicas de incentivo a escala nacional 271

-Neodependencia y patrón tecnológico futuro 281

Epílogo: Ecología política y antagonismo social: ¿Estrategias de posdesarrollo?
Grupo de Estudios en Geopolítica y Bienes Comunes 289

Anexos 297

Sobre las autoras y los autores 317

Política, ciencia y energía en el "Triángulo del litio"

Bruno Fornillo
Martina Gamba

El litio es el elemento químico central para confeccionar los acumuladores que utilizan los dispositivos eléctricos cotidianos, los vehículos eléctricos que se lanzan al mercado y los reservorios de electricidad que demanda la generación renovable, es decir, constituye un basamento del entramado industrial-energético de una sociedad renovada. En este sentido, se ubica en el corazón de la transición energética que habrá que encarar a nivel global a causa del agotamiento físico del combustible fósil y de las peligrosas consecuencias ambientales que acarrea su quema: los hidrocarburos son responsables del 67,3% de las emisiones de CO_2 (Bajzelj *et al*, 2013). El litio se erige, por tanto, como un prisma privilegiado para dar cuenta de la situación de nuestra región respecto de las alternativas al desarrollo que apunten a desmontar el patrón extractivista para encarar los desafíos que demanda el naciente siglo XXI. Así, una faceta central de la "cuestión litio" reenvía a la capacidad para escalar en su cadena de valor, esto es, pensar las dinámicas gracias a las cuales se logran productos de mayor valor agregado, especialmente los acumuladores de energía. Este tránsito atañe, en nuestra región, a una sinergia particular de las esferas de la ciencia, la industria y la política.

En este capítulo nos proponemos caracterizar la interrelación que existe entre las áreas de ciencia e innovación, y las esferas de la economía y la política que se asocian a la cuestión litífera en el "Triángulo del litio". En una primera parte, luego de una breve historización del surgimiento de la problemática litífera en cada país, describimos la dimensión técnica, científica y de innovación de las

técnicas de extracción del recurso (del carbonato de litio y de productos químicos primarios en general –la obtención de hidróxido de litio, por caso–). Tras ello, presentamos las oportunidades para la confección de productos químicos secundarios como materiales activos para las baterías o de la misma producción de células de energía. Por último, analizamos las interrelaciones entre la dimensión científica, política y económica de la "cuestión litio", con el propósito de vislumbrar hasta qué punto existen políticas integrales y efectivas para con el recurso.

En cuanto a nuestro marco teórico, partimos de la premisa presentada por Jorge Sábato y Natalio Botana según la cual es necesario integrar al sistema científico-tecnológico a la trama del desarrollo latinoamericano (Sábato y Botana 2011, Lopez Hurtado 2014). Esta perspectiva, tradicional en las ciencias sociales latinoamericanas, postula la existencia de un triángulo que tiene por vértices el gobierno, la estructura productiva y la infraestructura científico-tecnológica. Al ser parte de una región subdesarrollada, corresponde precisamente al gobierno administrar y gestionar las interacciones dentro del triángulo para lograr un crecimiento integral de nuestras economías. En otras palabras, se trata de que las instituciones políticas fomenten el avance del sistema de investigación en su interacción con la estructura productiva hasta alcanzar sociedades basadas en el conocimiento, la agregación de valor y la autonomía económica.

Antes de comenzar, se incluyen una serie de aclaraciones importantes. En primer lugar, al ponderar este tránsito no adoptamos una visión ingenua que supone que cada país deba controlar y tener bajo su mando el conjunto de la cadena de valor litífera. En segundo lugar, no consideramos que se tenga que encarar la industrialización desde el trabajo sobre el carbonato o hidróxido de litio para, desde ahí, ascender paso a paso en la cadena de valor (podría, por ejemplo, comenzase por ensamblar acumuladores y de ahí descender). En tercer lugar, no desestimamos en lo más mínimo el crecimiento tecnológico en las etapas ligadas a la extracción. Aquí, tratamos concretamente los beneficios que puede traer enfocarse en la tecnología de extracción de la materia prima y los derivados del litio (hidróxido, litio metálico, etc.), factibles de realizarse en el "Triángulo del litio", por ejemplo en técnicas que no perjudiquen el ambiente y que podrían, eventualmente, contar con el necesario aval de la población local. A su vez, no consideramos que las baterías sean la única producción a prestarle atención o que se deban producir baterías para todos los usos (obtener Li6 o Li7

para la energía nuclear también supone crecer en conocimiento). En cuarto lugar, no desconocemos la gran asimetría –en recursos, mercados, *know how*, innovación, etc. – que existe entre nuestros países y aquellos que cuentan con tecnología de punta. En todo caso, sí afirmamos que es preciso contar con una estrategia que tienda a gestar la mayor cantidad de valor en términos locales, "internalizar" el excedente, apuntar a poseer el dominio tecnológico de la mayor cantidad de procesos posibles y diagnosticar nichos concretos donde asentar la producción. ¿Cómo se originó la problemática litífera en el "Triángulo del litio"? ¿Cuáles son los intentos para agregar valor al recurso? ¿Qué interrelaciones existen entre las esferas de la ciencia, la industria y la política de nuestros países? ¿Contamos con políticas nacionales de carácter "integral" para con el recurso –es decir, cuando menos coordinadas en los múltiples actores y proyectadas entre las diferentes escalas y carteras de gobierno–? ¿Qué luz nos arroja la comparación entre Argentina, Bolivia y Chile? Estas son algunas de las preguntas que intentamos responder.

La emergencia histórica del litio como problema en el "Triángulo del litio"

Las primeras alusiones fuertes al litio se dan en el marco del fin de la segunda guerra mundial y la importancia que tras ella tenía conocer y controlar los recursos naturales, muy especialmente aquellos ligados a la energía nuclear, que se hallaba en el centro de la escena global. En la primera mitad del siglo XX, Luciano Catalano –el primer geólogo en descubrir uranio en la Argentina– se dedicó a recorrer importantes extensiones de los salares del noroeste argentino y catalogar los recursos allí existentes. Ya por 1965 afirmaba: "La defensa nacional debe establecer el monopolio fiscal productivo (...) [de] todas las fuentes naturales de energía (...) y las materias primas necesarias a esos fines, tales como lo son los minerales de uranio, torio, berilio, litio (...), que sabemos que existen en buena cantidad y calidad en nuestro país" (Catalano, 1965: 9). Estos descubrimientos quedaron inicialmente bajo la órbita de las instituciones nacionales del Estado y estuvieron vinculados a la importancia y el desarrollo de la energía nuclear en el país.

En Chile, apenas tres años antes, la compañía Anaconda buscaba agua en el Salar de Atacama pero en cambio encontró una multiplicidad de compuestos en la baja salmuera, litio entre ellos, lo cual motivó a que el Instituto de Investigaciones Geológicas del Ministerio de Minería estudie el Salar (un primer análisis amplio fue publicado en 1974). Por entonces, la Corporación de Fomento de

la Producción (CORFO), instancia estatal encargada de incentivar las políticas de desarrollo, creó el Comité de Sale Mixtas en 1977 para supervisar el desarrollo del mineral y realizó varios estudios adicionales sobre la fisonomía del Salar de Atacama. Esta atención se vinculó a la sanción del Decreto Ley 2886 que dictó Pinochet en 1979, declarando al litio recurso estratégico del Estado, parte de un proceso que había comenzado con la creación de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CEChN) y estaría marcado por el influjo geopolítico y belicista de la dictadura (Lagos, 2017).

También en los tempranos 60, la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF) del departamento de Potosí, en Bolivia, llevó adelante investigaciones sobre los recursos del Salar de Uyuni en conjunto con la "Academia de Minas de Freiberg", de Alemania, en parte gracias a profesores visitantes como Manfred Wolf (Entrevista a Claros, 2012). Con todo, la investigación más significativa se concretó durante la dictadura de Banzer. En 1973, la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) se vinculó con la Recherche Scientifique Technique Outre (ORSTROM), de Francia, para analizar conjuntamente los recursos minerales de los salares del sur de Bolivia, especialmente el de Uyuni. El interés económico que ofrecía la zona comenzó a despertar expectativas y Banzer la declaró reserva fiscal mediante el Decreto Supremo 11.614, bajo el propósito de comercializar los recursos no-metálicos, principalmente la sal (Echazú, 2015). La potencialidad de Uyuni incluso llamó la atención de la Administración Aeronáutica y Espacial de Estados Unidos (NASA, por sus siglas en inglés), que en 1976 estableció un convenio con el gobierno para investigar los recursos de las salinas vía satélite, dándose a conocer indicios de concentración de litio (Nacif, 2012). En suma, el despertar de la problemática litífera se vinculó estrechamente con su papel en la energía nuclear, con la potencial comercialización de los recursos de las salinas, y supuso un primer avance protagonizado por un abanico disímil de actores: investigadores pioneros, gobiernos militares, una empresa casual en búsqueda de agua y potencias ávidas de conocimiento y recursos.

Ahora bien, en Chile muy tempranamente emerge el interés por el litio pero ya como una fuente novedosa de acumulación de energía, componente clave de las baterías del futuro. En ningún otro país de Sudamérica como allí se estaba tan a tono con las investigaciones de los países centrales respecto a la importancia del litio en relación a un entramado productivo que lo excedía; es decir, para pensar el desarrollo en relación con los acumuladores de energía. Véase lo siguiente, en el lejano año 1983 –hace más de tres

décadas y cuando las baterías de Ion-litio aún no se habían inventado– Miguel Córdoba advertía en su artículo "Litio: bases para una estrategia de desarrollo", publicado en la revista *Creces*, de la necesidad de usar al litio como caso testigo para una política que apunte a crecer en las cadenas de valor de los recursos naturales. A su vez, postulaba la posibilidad de utilizar el elemento químico en la realización de baterías, de manera indudablemente pionera por lo temprano del anuncio (Córdoba, 1983). Esa tónica será compartida, ya que la misma posición desplegará Gustavo Lagos (1984) apenas un año después, y de nuevo sucederá en 1985, cuando el ingeniero chileno Guillermo Baltra Aedo, que realizaba sus trabajos en el Massachusetts Institute of Technology (MIT), dijo que Chile no podía perder la tercera oportunidad que le brindaba el litio luego de los sinsabores sufridos con el salitre y el cobre. En sus palabras: "donde el litio muestra su real perspectiva es en el futuro, principalmente en sus aplicaciones energéticas. La modesta y pequeña pila que actualmente usa litio, por ejemplo, puede ser expandida a empleos de más potencia, en baterías secundarias de alto poder específico muy apropiadas para automóviles (y esto significaría un crecimiento explosivo de las demanda por litio)" (Baltra, 1985: 2). Se trataba de investigadores que formaban parte de un mundo académico pionero y entusiasta, que participaban de primera mano de la tecnología naciente en los países centrales pero a su vez intervenían sobre la situación chilena, a la que más de uno prestaba atención con esperanza renovada (no pocos habían migrado allí por la irónicamente llamada "beca Pinochet").

Con todo, en Chile no solo despuntó el anuncio académico de una chance que el país no debía dejar pasar, sino que poseía visos prácticos concretos. La Comisión Chilena de Energía Nuclear y CORFO, en el año 83 y luego en el 86 con motivo del Primer Simposio Chileno sobre Litio, sostienen un programa titulado "Investigación de nuevos productos y aplicaciones de litio", que fue financiado hasta 1991. Desde su surgimiento en 1977 el Comité de Sales Mixtas contrató varios proyectos de investigación vinculados a la "cuestión litio" en diferentes instituciones locales hasta su disolución a fines de los años 80 (Lagos, 2017: 105). Se trataba, por tanto, de una atención que el Estado chileno le brindaba al quehacer con el litio pero que irá menguando con el paso del tiempo. Por caso, en 1991, el recientemente creado Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF) rechazó el proyecto "Desarrollo de materiales de litio para uso en baterías", que agrupaba a seis instituciones que venían analizando la cuestión litífera bajo la dirección de

los investigadores Guillermo Gonzales y Gustavo Lagos (Entrevista a Gonzales, 2017). Ciertamente, desde que se creó el FONDEF se presentaron 8 proyectos vinculados al tema litio, de los cuales solo uno fue aceptado y otro obtuvo un subsidio, el resto fue rechazado (Departamento de Ingeniería de Minas, 2002:23). Así, la ebullición intelectual inicial alimentada por ingenieros muy inclinados a la aplicación concreta, careció del empuje que se palpaba en sus inicios: "se realizaron dos simposios sobre el litio en los 90 pero el tema perdió fuerza" (Lagos 2017:105). A la hora de buscar la causa central de la desatención creciente del Estado debemos remitirnos al lugar cada vez más significativo cedido a la órbita privada en la cuestión litífera chilena, donde migraron las investigaciones de más peso. En este sentido, varios testimonios recabados coinciden en subrayar que en el transcurso de la década del 90 va, lenta pero persistentemente, feneciendo la investigación de litio que tan temprano había empezado en el país donde, de hecho, se cerró el Comité de Sales Mixtas (Entrevista a Gonzales, 2017 y a Gustavo Lagos, 2017). Este eclipse sobre la cuestión litífera lo ilustra la misma revista *Creces* que tanto hálito vanguardista había acogido: editó cuatro artículos referidos al litio en los tres años que van del 83 al 86, pero solo publicó igual cantidad en los 30 años siguientes.

Para 1981 se conocen los primeros resultados de ORSTROM que certifican los grandes recursos bolivianos de litio, ubicando a Uyuni como el mayor reservorio del mundo (5.500.000 toneladas). A la par, comienzan los intentos de licitar su explotación por parte de diferentes gobiernos, sea en dictadura o en democracia (Echazú, 2015). Empero, el de mayor repercusión fue el intento durante el mandato de Paz Zamora (1989-1993) de ofrecer por 40 años la explotación del Salar a la internacional FMC. El convite se topó con fuertes resistencias de las comunidades locales, del comité cívico departamental y de la Universidad Tomás Frías, de modo que las tensiones regionales terminaron por sepultar el proyecto empresario bajo una presión social que incluso amenazó la gobernabilidad a escala nacional. Un nuevo intento en 1992, jalonado por intensos debates parlamentarios y nuevas resistencias, llevó a que la propia firma desistiera definitivamente de la posibilidad de radicarse en Bolivia (Calla, 2014). Significativamente, por entonces la Universidad Tomas Frías y la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) de La Paz llevaron adelante, hasta su conclusión, la elaboración a nivel de factibilidad del "Proyecto de planta piloto para obtención de carbonato de litio", pero en aquella época no contó con el financiamiento público que imaginaban (Entrevista a Claros,

2012). Igualmente, el conflicto surgido en torno a la explotación del salar hizo que Bolivia fuera el primer país donde la discusión y el debate sobre la cuestión litífera adquirieron un estado público de alcance nacional.

En términos amplios, el interés por el litio en Argentina, Bolivia y Chile ganará en intensidad a principios del milenio, cuando el litio se asocie a escala mundial con la acumulación energética del futuro y esa evidencia se vincule con la constatación de las grandes reservas andinas. De todos modos, cada país reaccionó frente a la fiebre del "oro blanco" de manera diferente, en consonancia con la historicidad que acusaba la temática a nivel local. En la Argentina, el primer contacto científico serio con las baterías de litio surge entre los años 2005 y 2006, cuando se le encarga a la Comisión Nacional de Energía Atómica (CONEA) la fabricación, testeo y control de la batería de un satélite argentino, el SAC D, que pondría en órbita Estados Unidos, a partir de un convenio de vinculación que existía entre ambos países. Fue por entonces que una serie de investigadores, Juan Collet (del Centro Atómico Constituyentes), Arnaldo Visintin (del Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas -INIFTA-), y Daniel Barraco (que por entonces era miembro del directorio de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales –CONAE– y hoy se desempeña en la Universidad Nacional de Córdoba) tomaron conocimiento de la existencia del nuevo tipo de baterías. En aquel momento, pensaron que podría ser económicamente rentable realizar las baterías para que la utilicen los satélites argentinos, ya que eran de un precio significativo (rondaba el millón y medio de dólares) y de gran complejidad puesto que debía asegurarse su supervivencia en el espacio. La iniciativa no prosperó, la CONEA no estaba muy interesada en destinar recursos (humanos, económicos y físicos) a una tarea que no estuviese en estrecha sintonía con la ya de por sí complicada gestión de la confección del Satélite (Entrevista a Collet, 2013). En este país, por tanto, el grueso de la investigación sobre litio se inicia con la atención de aquellos que poseían una trayectoria en electroquímica y venían investigando otro tipo de acumuladores, de hidrógeno fundamentalmente, desligada de manera casi absoluta de la explotación del litio que FMC realiza en la provincia de Catamarca desde 1997 (Fornillo, 2015).

Los momentos constitutivos iniciales de cada país respecto de la cuestión litífera son significativos, puesto que emplazan una serie de rasgos destinados a durar. En Chile, el interés por el litio surgió de la mano de ciertos científicos que poseían una percepción aguda

de lo que sucedía con el litio a nivel internacional. Más temprano que tarde cobró preeminencia el avance de las empresas privadas sobre el área extractiva, adonde se mudaron las investigaciones concretas: sin interés por una perspectiva vinculada al desarrollo general, se centraron en la pura faena extractiva, donde la firma SQM, por caso, se volvió especialista. Asimismo, sobresalió la existencia de núcleos atomizados de investigación casi sin articulación entre sí pero que incumbieron a un buen número de universidades y con pocas perspectivas de desarrollo sostenido de ciencia básica, pese a lo *aggiornados* que se encontraban esos mismos núcleos respecto de lo que se investigaba a nivel internacional. Por último, y de manera vinculada, emergieron proyectos que duraban un tiempo determinado y luego se veían obligados a interrumpirse a causa de la ausencia de un financiamiento sostenido, lo cual redundaba en que las investigaciones también se opacaban. En este sentido, tras una primera atención que le propició el Estado chileno a la investigación, ciertamente al compás de su presencia en el área extractiva y de la relativa injerencia de CORFO, esa misma atención fue declinando cada vez más y propiciando una suerte de ondulación en las investigaciones públicas de Chile.

Al otro lado de los Andes, la extracción de litio se produce en Argentina a espaldas de lo que sucede en los núcleos de investigación centrales del país e incluso no suscita la atención de las instancias nacionales de gobierno. Más aun, la única explotación de litio que existía desde 1997 por parte de FMC mereció apenas la consideración aislada y menor de las provincias de Catamarca y Salta, incentivada por la federalización y el traspaso de los recursos a las provincias que produjo la reforma constitucional del año ´94. Denotando una historicidad singular, la comprobación de la existencia de litio surgió gracias a un descubrimiento individual embebido de un impulso nacional desarrollista, pero terminó más temprano que tarde en manos de la empresa FMC. Entre tanto, de manera independiente surgió el interés científico por el litio como clave de la acumulación energética mucho tiempo después. Aquí, es la tradición científica local vinculada a la investigación en electroquímica, que posee cerca de 70 años, la que se trasladó del hidrógeno al análisis del litio, por ser solidaria y vecina, dando cuenta de la importancia de las trayectorias de investigación independientemente de las mudanzas de las tecnologías de vanguardia.

Por último, el conflicto acontecido en Bolivia representó el fondo histórico que hizo de la cuestión del litio un problema social compartido y la condición inicial para que en 2007 fuera la

propia Federación Regional Única de Trabajadores del Altiplano Sur (FRUTCAS) la que le presentará al poder ejecutivo –del cual el sindicato se siente parte orgánica–, el proyecto de que el litio quede bajo mando estatal, que aun hoy lo tiene en sus manos (Calla, 2014). Un impulso estimulado por el físico belga Guillaume Roelants, que mantenía una relación estrecha con el sindicato local (Entrevista a Héctor Córdoba, 2017). Sin lugar a dudas, este rol central del Estado es la marca continua de la cuestión litífera boliviana.

Tecnología y extracción de litio: organicidad, insularidad y privatización

La etapa inicial de la cadena de valor litífera está compuesta por las técnicas necesarias para extraer los recursos evaporíticos de los salares y por los productos químicos primarios que transforman esa materia prima naciente. En el caso de Bolivia, la nueva Constitución del Estado Plurinacional sancionada en 2009 concibe al litio como un bien estratégico y no como un *commoditie,* reservando al Estado su explotación, comercialización y uso (CEPB, 2010)[1]. El avance sobre el litio boliviano ha quedado en su totalidad bajo dominio del poder ejecutivo paceño, que en un proyecto de tres fases gestiona de principio a fin la cadena productiva, buscando tener injerencia sobre la totalidad de la tecnología que va del salar a la batería[2]. A partir del año 2007, se llevó adelante la instalación de la infraestructura productiva sobre el Salar de Uyuni y allí mismo se montaron laboratorios, espacios de investigación y testeo, etc. El núcleo del pensamiento científico técnico boliviano estuvo destinado a pensar la técnica más apropiada para extraer el litio del salar. En los hechos, durante este largo período el mayor obstáculo ha sido encontrar una técnica de extracción que permita obtener los recursos evaporíticos de manera eficaz, rentable y sustentable, para así comenzar la producción a gran escala[3].

Al principio, se probó una técnica de extracción que generaba muchos residuos y no utilizaba comercialmente el magnesio. En efecto, la "línea de los cloruros" que recibió un reclamo desde Chile

1 Constitución del Estado Plurinacional de Bolivia (Declaración Transitoria 8, Bolivia, 2010).

2 Tal como se ha visto en el Capítulo 3, Bolivia posee un plan estratégico de tres fases, todas encaradas por el Estado: una primera en la que se produzca la química primaria, una segunda en la que se confeccionen materiales activos, y una tercera que suponga la propia producción de baterías, asociándose con empresas extranjeras fundamentalmente en esta última etapa.

3 Para una caracterización pormenorizada de las técnicas de extracción, véase Anexo.

por la patente del método, empleaba la cal para separar al litio de otros compuestos al inicio del proceso de extracción de la salmuera, técnica que hubiese generado aproximadamente 4.000 toneladas por día de lodos de encalado y casi un millón y medio de toneladas de residuos cada año (Calla, 2014). Además, a causa de la especial composición del salar, el magnesio se desechaba como residuo en vez de comercializarse. Esta última fue la causa central por la cual se dejó de lado y se reemplazó por otra técnica: la "línea de los sulfatos". La actual "línea de los sulfatos", al utilizar el encalado al final del proceso de evaporación y concentración de los compuestos en piletas, genera muchos menos residuos –3 toneladas de residuos por cada una aprovechada– y logra obtener el magnesio para la comercialización, ya que se extrae previamente al proceso de encalado (Entrevista a Pozo, León, 2017 y GNRE 2016)[4].

La particularidad de la investigación local sobre el proceso extractivo reside en que se vincula directamente a un proyecto en manos del Estado, que patentó y aplica la "línea de los sulfatos" para su propio usufructo. Bolivia no tardó tanto más de lo que suele demorar la puesta en producción de los salares –entre cinco y siete años– e incluso no se le cerró una oportunidad, de hecho sucedió lo contrario puesto que el precio del carbonato de litio ha aumentado notablemente en el último tiempo. La capacidad científica boliviana está abocada, entonces, a generar tecnología local, poniendo la investigación y su aplicación al servió de un proyecto que se declara de beneficio público. En este sentido, es loable la disposición del conjunto del sistema científico a trabajar en el desarrollo de servicios y procesos de alta tecnología relacionados con la obtención de recursos evaporíticos. El problema acerca del método de extracción se encuentra saldado para quienes conducen el proyecto litífero boliviano, de modo que se espera comenzar con la producción masiva: 15.000 toneladas anuales, momento en el cual se comprobará la efectividad final y última de la técnica nueva (Entrevista a Montenegro, 2017). A fines de 2018 la planta de producción de potasio ya está concluida, el mercado de potasio es muy amplio, las primeras partidas se dirigen a Brasil, que lo consume *in extenso*, y la planta de producción de carbonato de litio se encuentra en construcción por parte de la empresa China Asociación Beijing Maison

4 La larga vinculación entre la Universidad Tomas Frías y la Universidad Técnica de Freiberg se reedita a partir de un proyecto conjunto en el año 2008, cuyo fruto es el patentamiento de la "técnica de los conos" para extraer recursos evaporíticos, litio entre ellos, una técnica probada pero con la dificultad de extenderse a una escala productiva masiva (Entrevista a Claros, 2017). Sobre la situación ambiental de las explotaciones, véase el capítulo de Gustavo Romero en este mismo libro.

Engineering, que la erige bajo la modalidad "llave en mano"[5].

Bajo esta impronta, la gestión estatal del proyecto de recursos evaporíticos fue creciendo cada vez más. En principio, ocupaba un lugar entre otros dentro de la Corporación Minera de Bolivia, luego pasó a lograr una mayor independencia al constituirse la Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) y actualmente se ha fundado la empresa autónoma Yacimientos Litiferos Bolivianos (YLB), que tomará el control de la totalidad de la cadena de los recursos evaporíticos del Salar de Uyuni. De igual modo, quien ha apalancado constantemente el proyecto litífero, Alberto Echazú, ha dirigido cada etapa y hoy es Viceministro de Altas Tecnologías Energéticas.

En Argentina se encuentran en producción dos salares, el de Hombre Muerto en manos de la corporación estadounidense FMC y el Salar de Olaroz-Cauchari, bajo el control de la firma australiana Orocobre (aunque todos los salares poseen pertenencias privadas). Las dos firmas cuentan con sus propias técnicas y procesos de extracción, cuyas patentes dominan e instrumentan de modo privado y confidencial; de hecho, detentan sus propios laboratorios I+D o recurren a universidades extranjeras con las que mantienen una tradición de colaboración (Entrevista a Flexer, 2018). En el ámbito público, un centro de investigación cercano al área extractiva lo constituye el Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy (CIDMEJU), emplazado en las oficinas administrativas de lo que antiguamente era la principal siderúrgica de Latinoamérica, Altos Hornos Zapla, en Palpalá. Su pertenencia es múltiple: depende de la Universidad Nacional de Jujuy (UNJU), del CONICET, del gobierno provincial, y entre otras instancias también se busca que la empresa público-provincial Jujuy Minería y Energía Sociedad del Estado (JEMSE) se articule con él, de modo que recibe presiones múltiples, atenciones y desatenciones varias, además de fondos diversos. Desde el año 2015, el interés del nuevo gobernador Gerardo Morales por la cuestión litífera logró vehiculizar un cúmulo mayor de fondos nacionales que aceleraron su construcción. Actualmente, tal como nos comentaba el Rector de la UNJU, el CIDMEJU tiene por uno de sus directores a Arnaldo Visintin, bajo el propósito de combinar las dos líneas centrales de la investigación del litio en la Argentina, la constituida por una suerte de eje Buenos Aires-Jujuy, y la conformada por una eje La Plata-Córdoba, que se aboca a baterías contemporáneas y más abajo describiremos (Entrevista a Tecchi, 2017). Sin embargo,

5 "La Planta Industrial de Cloruro de Potasio será inaugurada el domingo en Uyuni", Prensa, Consulado General de Bolivia en Buenos Aires (3/10/18).

aun resulta incierta la combinación de ambas líneas (vale aquí subrayar que en la Argentina existen múltiples núcleos dispersos de investigación de litio que detallamos en la sección anexo). Se espera que un futuro la provincia de Jujuy, a través de JEMSE, cuente con litio y el CIDMEJU proporcionaría la fuente de recursos humanos y de conocimientos, forjando una suerte de "*cluster* del litio" local (Entrevista a Simone, 2017)[6].

En efecto, existe un eje de investigación que vincula a los nodos de Jujuy y Buenos Aires. El grupo de Electroquímica de Litio del Instituto de Química de los Materiales, Medio Ambiente y Energía (INQUIMAE) de la Universidad de Buenos Aires, bajo la dirección de Ernesto Calvo, junto a Victoria Flexer –que alguna vez fue su discípula– del CIDMEJU de Jujuy, estudian métodos de extracción de litio de salmueras "limpios". Ernesto Calvo recibió el premio *Bright Minds Challenge* (Mentes brillantes) el 13 de junio de 2017 en la ciudad de Amsterdam, por el desarrollo de un método electroquímico que fue patentado en Argentina en 2015 para extraer litio de las salmueras empleando paneles solares como fuente de energía. Esta técnica está probándose a ver si puede alcanzar escala masiva –dos informes técnicos de YTEC y la empresa Clorar conciben que no– y, fundamentalmente, no existe salar público dónde aplicarse. La misma Victoria Flexer advierte que los salares del país, inclusive aquellos que están sin explotar, están en manos privadas y por eso "por más que yo tenga una nueva técnica, se la tengo que vender a alguien" (algo semejante sucede con el litio necesario para las investigaciones, que es importado)[7].

El empuje general jujeño desde hace tiempo busca crecer en la cadena de valor, fundamentalmente desde que de manera pionera

6 En este momento se desarrollan en el CIDMEJU siete tesis doctorales, la mayoría son profesionales formados en la Universidad Nacional de Jujuy: "El 60% de la investigación se aboca a nuevas técnicas de extracción, más sustentables pero principalmente más eficientes" (Entrevista a Flexer, 2018). En el CIDMEJU también se comenzó a trabajar en baterías de avanzada (baterías litio-aire y baterías litio-azufre), pero aún de manera incipiente. Sumados a los estudios de extracción de litio de salmueras, en diferentes puntos de Argentina se estudia el desarrollo de métodos de extracción de litio de rocas y de baterías agotadas (en la Universidad Nacional de San Luis a cargo de Roberto P. Orosco; en la Universidad Nacional de Cuyo bajo la dirección de Mario H. Rodríguez y en el CINDECA de La Plata, a cargo de Andrés Peluso). En marzo de 2017 los científicos de Mendoza solicitaron una patente internacional por el proceso de extracción y patentaron un método para la disolución de $LiCoO_2$ contenido en baterías ion-litio agotadas bajo la titularidad de CONICET y la Universidad Nacional de Cuyo. Empero, al día de hoy ninguna de estas técnicas de extracción o reciclaje se ha aplicado a nivel productivo.

7 Victoria Flexer en, "¿Una estrategia para explotar el litio?", TSS 5/05/2016.

Rodolfo Tecchi –hoy rector de la UNJU– insistió en caratular al litio como recurso estratégico en la provincia. Con todo, lo cierto es que la provincia no posee aún litio propio (las empresas no venden en el país ni tienen interés económico ni obligación de hacerlo), tampoco un salar dónde aplicar una técnica de extracción novedosa, no existe una empresa provincial robusta –en concreto, el 8,5% del capital accionario de Sales de Jujuy, a partir de un préstamo que todavía debe devolver, la deja subsumida a la lógica de acumulación y decisión de las empresas trasnacionales–, ni impuestos sustanciales que abonen las empresas privadas de la renta de la extracción de litio, de modo que nos encontramos con una iniciativa científica sin un entorno sólido que la haga real y palpable. En cierto sentido, los intentos de crecer "aguas arriba" requieren en Argentina tanto ahínco como realizar baterías, sin contar que resultan complejos técnicamente y se topan con un mercado no menos cerrado, con cuatro grandes firmas que lo dominan (SQM, Talison, FMC, Albemarle –Ströbele-Gregor, 2015–).

En Chile, tal como mencionábamos, al compás de la definitiva privatización de la extracción litífera que se consolida en los años 90 y de la desatención de la CORFO, se evidencia una migración de la investigación sobre procesos extractivos hacia las compañías privadas. En este sentido, no sería apropiado afirmar que el análisis y la investigación sobre la cuestión litífera eclipsan por completo luego de su temprana aparición, más bien se realizó puertas adentro y de forma privada, una característica que se sostendrá en el tiempo. Por entonces, la novel SQM formó un Centro de Investigación y Desarrollo de tecnologías del litio que a través de los años creó 16 patentes internacionales sobre procesos extractivos de litio, y en la actualidad posee trabajando no menos de 18 personas en Investigación y Desarrollo, a tal punto que el vicepresidente de SQM afirma que 25 hidrogeólogos se encuentran trabajando en sus instalaciones, los mejores y casi todos los que hay en Chile, incluso extranjeros (Entrevista a Jiménez, 2017). La ondulación chilena es bastante clara, mientras disminuyen las investigaciones públicas sobresale el predominio del trabajo técnico a nivel privado, con SQM como insignia.

Ahora bien, una escalada de valor y de obtención de productos químicos primarios lo constituye el pasaje de carbonato de litio a hidróxido de litio, o la extracción directa del salar de hidróxido o la elaboración de litio metálico. Las estimaciones suelen indicar que la demanda de compuestos de litio para cátodos de batería crecería de las 55.000 t LCE (carbonato de litio equivalente) en 2014 a

cerca de 220.000 t LCE en el año 2025, subiendo la participación del hidróxido de un 10% a 36% con respecto al carbonato, cuyo precio suele ser un 40% mayor (Entrevista a Spadillero, 2018)[8]. En la Argentina, el proyecto de Olaroz exporta el carbonato y es la propia Toyota la que lo transforma en hidróxido en sus plantas niponas. Pese a ello, uno de los principales proyectos del CIDMEJU consiste en investigar acerca de la producción de hidróxido de litio a nivel planta piloto, donde estaría involucrada la empresa Laring, que trata y comercia materias químicas orgánicas (un proyecto que en verdad existe hace más de cinco años –Fornillo, 2015–). Para poner en funcionamiento esta planta haría falta, cuando menos, financiamiento y la provisión constante de carbonato del litio, cerca de quince toneladas mensuales, con las cuales hoy no cuenta el país (aunque en un futuro JEMSE tendría litio en sus manos, en principio menos que sus pares bolivianos y chilenos, con lo cual habría que ver si logra escala competitiva en este rubro). Otro proyecto promovido desde el gobierno jujeño lo comanda la empresa Clorar –dedicada a la consultoría, investigación, desarrollo y diseño de procesos y equipos para la industria química–, para obtener litio metálico por electrólisis de sales fundidas. El proyecto es relevante en cuanto a que un kilo de litio metálico vale 120 U$D y el costo de producirlo son 42 U$D (7 kilos de carbonato de litio y 4 U$D de energía –32 KWh–); es decir, comporta una ganancia de 78 U$D por unidad (Clorar, 2017). Sin embargo, no pasa de ser un anuncio, ya que no hay financiamiento para llevar adelante una planta piloto (Entrevista a Spadillero, 2018)[9].

En Chile, la misma SQM exporta hidróxido de litio y espera crecer en este rubro. Si en la primera década del 2000 los testimonios coinciden en afirmar que la investigación sobre litio en Chile se esfuma, la cuestión litio comenzará a adquirir nuevamente relevancia en la segunda década del siglo. Por entonces, las empresas extractivas avizoran que financiar la investigación "puertas afuera" podría beneficiarlas y además legitimar una actividad considerada sólo como una obtención de rentas de la faena extractiva. En el año 2010, pegado al Salar de Atacama, se creó en Chile el Centro de Investigación Avanzada del Litio y Minerales Industriales (CELIMIN), dependiente de la Universidad de Antofagasta, de la mano de una serie de ingenieros locales que buscaban producir conocimiento a la vera del salar. Entre los principales objetivos del centro se

8 Véase Anexo "¿Cómo funciona una batería?".

9 Para una descripción de las posibles aplicaciones tecnológicas del litio véase el interesante estudio editado por Enrique Baran (Baran, 2017).

encuentra investigar y brindar valor a la materia prima, esto es, obtener bajo usufructo de la Universidad, el Centro y sus investigadores, productos de sales de alta pureza exportables a mercados de la industria química, farmacéutica y nutracéutica, entre otras. En 2015, por ejemplo, se firmó un contrato con la empresa Rockwood para investigar los modos de recuperación de agua de las piscinas de evaporación. En otros términos, se proponen realizar investigación, innovación y desarrollo tecnológico en sales inorgánicas ligadas a los compuestos de litio, sodio y potasio, para lo cual se han adjudicado varios proyectos financiados por empresas privadas y por el Estado chileno (subsidios del Fondo de Innovación para la Competitividad Regional (FIC-R) y del FONDECYT). Esta dinámica da cuenta de la particular situación chilena donde interactúan las instancias de investigación –en su mayor parte dependientes de las Universidades privadas– y las empresas, dispuestas siempre a alimentar los sistemas de innovación para lanzar nuevos productos al mercado (Entrevista a Grageda, 2017).

En definitiva, en el área extractiva cada país presenta un recorrido particular. Si en Chile sobresale claramente el comando de las empresas extractivas sobre el cual pivotea un entramado ya asentado de investigación propio y otro parcialmente financiado con fondos públicos, en una suerte de asociación privada-pública que, como veremos, tenderá a acercentarse; en Argentina los intentos aislados de una provincia como Jujuy son menores frente al predominio de las firmas vinculadas a la producción litifera; mientras que en Bolivia la investigación es más reciente y el direccionamiento del Estado es nítido respecto de su orientación, abocada a la puesta en marcha de la producción. Este panorama incial tenderá a crecer y adquirir múltiples derivas a medida que se avanza en la pluralidad de tecnologías que posibilita el litio.

Materiales activos: política estratégica, nacional y provincial

La cadena de valor litífera se abre en un abanico de aplicaciones que van desde la producción de cerámicos o vidrios pasa por la energía nuclear e incluye las células de energía contemporáneas. Los productos químicos secundarios, los materiales activos que demandan la confección de la batería, así como la parte física de la batería, implican el manejo de tecnología de punta, agregado sustancial de valor e innovación aplicada[10]. En términos concretos, los

10 El pasaje que va del litio a la batería posee cuatro pasos básicos: 1) contar con los elementos químicos, el litio entre ellos; 2) el procesamiento de esos químicos, lo que se llama el pasaje del "carbonato de litio a los compuestos", esto es, contar con las diferentes sales y materiales químicos procesados que se utilizan en la

productos químicos secundarios para una batería consisten en sintetizar, a partir del puro carbonato o cloruro de litio y otras sales, los materiales activos base de cátodos y ánodos; la preparación de los electrodos y la síntesis del electrolito; esto es, los componentes químicos propios de los acumuladores[11]. Estos elementos son los de mayor precio en el costo total de una batería (el cátodo representa el 16%, el ánodo el 8% y el electrolito otro 8%).

En Chile, bajo el marco de los lineamientos sugeridos por la Comisión Nacional del Litio en 2015, existe una nueva política en relación al litio llevada adelante en lo fundamental por la CORFO. La base sobre la que sustenta esta nueva política hacia el litio reside en nuevos acuerdos realizados entre CORFO y las dos grandes empresas que explotan el Salar de Atacama, Albemarle –antes Rockwood– y SQM. Sus lineamientos centrales implican que se extiende la cantidad de materia prima que pueden extraer y un mayor lapso de tiempo para ello. Como contraparte, Albemarle, por caso, anuncia invertir 600 millones U$D, aumenta el *royalty* que deberá abonar, destina un 25% del elemento químico extraído al mercado nacional a precio preferencial, devenga unos 12 millones de dólares anuales para investigación y unos 5 millones para las comunidades aledañas al salar (un 1,7 de las ganancias)[12]. Habiéndose plasmado de este modo la política litífera se ha llevado adelante la visión más *soft* de las directrices que apuntaba la Comisión Nacional del Litio, dejando de lado aquella que sostenía la necesidad de una presencia directa del Estado en la extracción y la cadena de valor, justificado en lo fundamental en la ausencia de dinero en hacienda para invertir (Entrevista a Ebensperger Jessen, 2017).

Respecto a la confección de materiales activos, desde el año 2017 Chile avanzó a partir del programa "Proyecto de Inversión de Productores Especializados de Litio en Chile" comandado por CORFO, estimulando a las empresas nacionales y extranjeras a radicarse en el país para aprovechar la materia prima. Esta opción fue posible sobre la base de los nuevos acuerdos, donde se estableció que aquel 25% del litio extraído se debía procesar en el país mediante la fabricación de materiales activos que permitan exportar productos de mayor valor agregado y desarrollar una

emulsión que contiene la batería; 3) producir los elementos físicos de la batería. Se requiere, por ejemplo, realizar las celdas, lo cual demanda insumos de dificil composición como los separadores (permiten el pasaje selectivo de una serie de compuestos entre el ánodo y el cátodo de una batería); 4) el ensamblado final del producto (Fornillo, 2015).

11 Véase anexo "¿Cómo funciona una batería?".

12 Acuerdo CORFO-Rockwood.

industria primera vinculada al litio. El programa convocó a empresas interesadas en asegurarse el suministro de litio a un precio preferencial, y por resultado se eligieron tres empresas (Molymet, de Chile; Samsung y Posco, de Corea y Sichuam Fulin Industrial Group, de China) que se instalarán en el país en un plazo de dos años, invirtiendo 754 millones U$D, para producir cerca de 58.078 ton/año de materiales cátodicos[13]. En este sentido, controvertida o no, puede afirmarse que Chile posee una política estatal centrada en cierta participación de la renta litífera y en el estímulo a la inversión extranjera.

En la Argentina, la línea de investigación que se aboca al campo de las células de energía cuenta con un desarrollo amplio y cierta trayectoria. Ella está compuesta por una suerte de eje La Plata-Córdoba, esto es, el Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas –INIFTA– de La Plata –encabezado por Arnaldo Visintin– y el Laboratorio de Energías Sustentables de Córdoba –bajo la dirección de Ezequiel Leiva y Daniel Barraco–, donde se encuentran radicados más de 20 investigadores abocados a diferentes aristas del campo de las células de energía. Además, junto con la investigadora Rita Humana del Centro de Investigaciones y Transferencia de Catamarca (donde realizaron un prototipo de batería para moto), constituyen un grupo de investigación que trabaja de manera coordinada la problemática de las baterías de litio, particularmente el desarrollo de materiales anódicos y catódicos para baterías, así como el estudio teórico de sus fundamentos.

Esta coordinación de equipos de investigación se conformó a partir del seminario "Utilización integral de litio en Argentina. Ciencia, Tecnología e Innovación al servicio del Desarrollo" llevado a cabo en el año 2011 en San Salvador de Jujuy, y se consolidó al calor de los diferentes proyectos que, promovidos desde organismos del Estado Nacional, se generaron entonces para contar con industrias abocadas a la confección de baterías. En efecto, a fines de 2011 se gestó la primera comunión entre Ministerio de Industria (MinI), el Ministerio de Ciencia y Tecnología, investigadores del eje La Plata-Córdoba y las empresas Plaka y Probattery para ensamblar en el país las baterías que utilizarían las computadoras que distribuía el gobierno nacional a las escuelas públicas través del programa Conectar Igualdad, primer paso para dominar la tecnología que va del "salar a la batería". Una segunda experiencia complementaria fue fomentada por el MinI en 2012, que consistió en articular

13 "Tres Empresas Invertirán US$754 Millones para Industrializar el Litio en el Norte de Chile", Estrategia (31/5/18).

formalmente a los científicos con las grandes empresas electrónicas de Tierra del Fuego para realizar la totalidad del proceso de producción en el país, fundamentalmente las celdas, el "corazón" de la batería. Aunque las condiciones iniciales parecían óptimas, se apreciaba una cierta articulación entre mercado, industria, ciencia y política, no fueron pocos los obstáculos con los que se toparon estos proyectos. Entre ellos, la dificultad de cumplir con los plazos de entrega de las baterías, la negación de las grandes empresas fueguinas de sostener económicamente la apuesta, la consiguiente desatención del Ministerio de Industria y el apoyo menor a emprender el salto industrial por parte del Ministerio de Ciencia; es decir, la debilidad del Estado para dirigir el accionar de los actores (Fornillo, 2015). Esta fue la última vez que el Estado nacional argentino tuvo una política en la que se coordinaron los ministerios y se le dio una proyección a la "cuestión litio".

Aunque estos proyectos de producción no prosperaron, este grupo de investigación se constituyó a partir del año 2014 como "Espacio de Innovación" de YTEC (YPF-Tecnología, conformada por YPF –51%– y CONICET –49%–), el brazo de investigación de la empresa petrolera semipública YPF que apuesta a desarrollar espacios de innovación en la industria energética. Desde entonces, pusieron en práctica cuatro laboratorios en Córdoba, La Plata y Catamarca, con equipamiento necesario para estudiar las baterías y se avanzó en niveles de articulación entre los científicos en pos de un objetivo que trasciende el propio campo científico: "a escala laboratorio tenemos materiales tan buenos como los comerciales. Y tenemos materiales que son inéditos". En el último tiempo han abordado el análisis de la baterías litio-azufre, que emergen como los acumuladores de "pasado mañana" (Entrevista a Leiva y Barraco, 2017). Claro está, una especificidad de este grupo es su impulso para que las investigaciones se vinculen con la esfera productiva. Mencionemos aquí que la Argentina, a raíz de su extensa tradición en el campo de la energía nuclear, podría proyectar investigar la generación de Litio 6 y 7, cuyo valor aproximado es de 10.000 U$D el kilo.

En la provincia de Jujuy, además de promover la instalación de nuevos emprendimientos mineros avanzan algunos proyectos de agregado de valor a nivel planta piloto e industrial. Sobre esto último, en 2017 el gobernador acordó en Milán (Italia) un contrato de sociedad entre la estatal-provincial JEMSE con la empresa SERI GROUP (a través de la compañía italiana FIB-FAAM) para encaminar la construcción de una fábrica de celdas de litio y baterías en la provincia. El vínculo entre el gobierno de Jujuy y el grupo

empresario italiano surgió en una reunión junto a los científicos de Córdoba y La Plata, que hace tiempo conocían a la gente del politécnico de Torino, fundadores de la empresa Lithops que fue comprada por FIB-FAAM, uno de los mayores fabricantes mundiales de baterías de plomo-ácido. Esta es una de las causas por las cuales también iba a participar de la sociedad la estatal Y-TEC con un 3%, aunque finalmente no se la incluyó en el convenio (Entrevista a Visintin, 2017). Se creó entonces una firma –Jujuy Litio SA–, con una participación del 60% del estado provincial (a través de JEMSE) y del 40% del Grupo SERI, cuyo objetivo nominal sería arrancar con plantas de ensamble de baterías, para continuar con la fabricación de celdas y luego materiales activos, que se localizarían en el Parque Industrial en la jujeña localidad de Perico. Básicamente aquí se asienta la esperanza de la provincia de Jujuy, en la que más adelante profundizaremos, a contramano las otras provincias litíferas de Salta y Catamarca, que en este rubro no abrigan ninguna.

En Bolivia, tras un fallido intento por establecer una suerte de *joint venture* con la empresa coreana Kores-Posco, el Estado puso en marcha en agosto de 2017 una fábrica de materiales catódicos de baterías en La Palca, emplazada por la empresa francesa ECM Green Tech a pedido y financiada por el Estado Plurinacional, con un costo de 3,5 millones de dólares (Entrevista a Carballo, 2017). En la planta se producirá óxido de manganeso litio (LMO), pero también óxido de níquel-manganeso-cobalto litio (NMC), componentes principales para la producción de baterías de litio, apuntando así a cerrar el circuito de la industrialización del litio boliviano a escala piloto. Con esta planta Bolivia busca adquirir conocimiento y tecnología para la producción de química secundaria para baterías; formar y calificar a profesionales y técnicos bolivianos y optimizar los procesos para la producción industrial de materiales catódicos destinados a la fabricación industrial[14]. Por esta vía, Bolivia está buscando participar de la tecnología del conjunto de la cadena litífera.

En este punto, ya podemos comenzar a mencionar que las orientaciones estructurales están claras y resultan decisivas. Los dos países que poseen un direccionamiento nítido son Chile y Bolivia. El primero utiliza el andamiaje estatal para crear las condiciones de mercado que posibiliten crecer dentro de las múltiples aristas de la "cuestión litio", aumentando significativamente las regalías que obtiene (la provincia argentina de Jujuy procura llevar adelante una iniciativa comparable, de menor porte, sin tener de respaldo una

14 "Morales inaugura planta piloto de materiales catódicos", Página Siete (23/8/17).

precisa política nacional). El segundo, claro está, apuesta a que el predominio estatal sea lo suficientemente fuerte como para poder participar de manera ininterrumpida en los destinos que adquiere el litio. Si es preciso contemplar de manera primigenia los marcos históricos, la interrelación entre las esferas de la política, la ciencia y la economía, es porque el tipo de entrelazamiento que construyen en Sudamérica continúa siendo determinante.

Industria y comercialización de baterías

En Chile, la investigación sobre el litio expresa un nuevo impulso a partir de 2010. Ese año la Universidad de Chile creó el Centro de Innovación del Litio (CIL), fundamentalmente gracias al empuje de su mentor, Jaime Alee, experto en la relación Universidad/Empresa, quien obtuvo financiamiento de parte de SQM y de Chemetall e incluso de la multinacional Japonesa Marubeni. En un inicio llevaron adelante los proyectos gracias a 600 mil U$D de aporte de privado, 300 mil U$D de la Universidad de Chile y 100 mil U$D de CORFO. La idea era crear valor para la ciencia y la industria del país, a través de la investigación y desarrollo en torno a las baterías de Ion-Litio. El objetivo apuntaba a los actuales desafíos que presentan las baterías utilizadas para los vehículos eléctricos: lograr un mayor rendimiento y vida útil, recargas más rápidas y reducción de costos. El CIL montó laboratorios de investigación de modelado de baterías, de acumuladores, talleres de reconversión de automóviles a electricidad, a partir del cual realizar empaquetamiento de baterías; diagnósticos del estado de carga y salud de celdas bajo diferentes condiciones de operación; desarrollo de pack de celdas para bicicleta eléctrica; entre otras iniciativas. Aunque el centro propició algunas investigaciones de ciencia básica –en ánodos de batería por ejemplo–, y buscaban producir patentes, la estrategia fundamental consistía en avanzar en la cima de la cadena de valor, en las puertas de la comercialización. El centro estaba muy ligado a generar un producto que pueda demandar el mercado, coordinando una potencial red de inversionistas y, de ser preciso, obteniendo todos los componentes de la importación. En julio de 2013 el CIL, de la mano de Manuel Mata, presentó la primera batería para vehículos eléctricos diseñada en el país, un sistema de batería inteligente denominada E-LI-Battery1.0, pasible de ser alojada en autos o de servir de complemento a sistema de generación de energía renovable o de respaldo de hogares ("Eli-Home"). Lo cierto es que más allá de lo innovador del intento, la iniciativa se vio interrumpida al agotarse los recursos que acercaban las empresas (Entrevista a Alee y Mata, 2017).

Por las características del sistema científico chileno, la investigación se realiza fundamentalmente en universidades que carecen de financiamiento público de peso, a lo cual se suma la dificultad para sostener la continuidad en el tiempo de las investigaciones, ya que la institución estatal a cargo financia proyectos específicos y no investigadores. Este es el punto base que explica la interrupción de los desarrollos científicos y su necesidad de vincularse a propuestas rápidamente atractivas para la comercialización, así como el relativo aislamiento de los proyectos. La dinámica del área científica que se da en Chile se despliega en los extremos de la cadena, o en la fase de extracción o ya directamente en la comercialización de las baterías, nunca desligada del financiamiento de las empresas extractivas, y sin la pretensión de controlar ni llevar adelante estrategias en el conjunto de la cadena de valor del litio[15]. La tonalidad dominante es la confianza en la dinámica mercantil y la iniciativa privada como vía de un potencial desarrollo, incluso bajo un impulso que se busca global, a tono con la histórica perspectiva chilena de atender a su vínculo con los países centrales. En efecto, no es una casualidad que una antigua integrante de SQM -Daniela Desormeaux- haya creado Signunbox, consultora que procesa y comercializa información global sobre el mercado del litio y de las baterías: "*processing strategic information*", para de este modo ofrecer "*signals for decisión makers*", tal como reza en su sitio web (Entrevista a Daniela Desormeaux, 2017). En suma, desde el comienzo de la década en Chile parece primar una suerte de estrategia que se quiere realista respecto de la investigación, donde se presta especial atención a la dimensión primaria de la extracción, o bien otras iniciativas que se dirigen directo a la comercialización.

Ahora bien, existe un leve viraje desde que surgió la Comisión Nacional del Litio, que entre otras recomendaciones llamaba a agregar valor en Chile, y desde entonces fue la CORFO la encargada de direccionar la situación del litio. En primer lugar, tras la estela del acuerdo, la idea consistió en erigir el Instituto Solar Minero de Chile (Ahora llamado Instituto Tecnológico de Energía Solar, Minería de

15 La fuente de financiamiento privilegiada de las mismas empresas que explotan el litio aun puede colegirse del impulso dado por la Universidad Pontífica de Chile a la investigación de materiales avanzados para el almacenamiento de energía usando sales de litio, además de nuevas tecnologías de extracción, que se llevó adelante en el Centro de Innovación UC Anacleto Agenili, financiado por Rockwood y liderado por René Rojas. O bien, el apoyo económico que recibió la misma Universidad para investigaciones relacionadas con los efectos benéficos del litio para la salud humana. "Rockwood Lithium y Centro de Innovación de la Universidad Católica firman convenio marco de colaboración", Centro de Innovación UCAA, noticias (11/08/15).

Bajas Emisiones y Materiales Avanzados de Litio y otros minerales.). Emplazado en Antofagasta, a inaugurarse durante el año 2019, su presupuesto –cerca de 200 millones U$D– en parte surge de los dividendos que deberán desembolsar SQM y Albemarle, y busca trazar sinergias con múltiples universidades y también con empresas mineras. El Instituto no consiste en un espacio académico ni universitario, sino un centro de desarrollo tecnológico e industrial: "Se trata de evaluar las posibilidades de escalamiento industrial y eso debe ocurrir al lado de donde están las oportunidades, de donde está el sol, el litio y la minería del cobre"[16], afirmaba el ex vicepresidente de la CORFO, Eduardo Bitran. De este modo, la investigación sobre la cuestión litífera se inserta en una más amplia vinculada a la intención de Chile de incorporar energía renovable dada la profusa capacidad solar que posee en su norte, siendo uno de los países de mayor tasa de crecimiento de energía solar en Latinoamérica (aunque en el sur de Chile esa incorporación de generación renovable se basa en proyectos de mini represas y energía eólica). En este país, entonces, se plasma un sistema de vinculación público-privado donde se financia un abanico de investigaciones vinculadas a la transición energética, con el objetivo de crear 100 empresas del rubro en un futuro cercano.

A su vez, CORFO realizó un acuerdo con la Universidad de Chile que determinó la existencia de cobalto en Chile, elemento que hoy utilizan las baterías y es más estratégico que el litio, ya que su producción se da casi exclusivamente en África (Townley *et al*, 2018). La estrategia de CORFO guarda ciertos visos de integralidad a partir de atraer inversión privada y generar un ambiente económico estimulante para la formación de una suerte de *"energy valey"*, desde una provisión preferencial de materias primas, así sería si estuviesen en condiciones de ofrecer litio, cobre y cobalto. A tono con las tendencias productivas globales, Bitran expresaba que Chile debía articular energías limpias, electromovilidad, revolución digital e industria 4.0, en un contexto de innovación sistémica, tecnologías disruptivas y cuarta revolución industrial, bajo el anhelo de volver sustentable la minería (el mayor consumidor de energía en Chile, con un 36% del total, principal aportante del Estado chileno –21%–) (Bitran, 2017; BNE, 2016). La iniciativa es un tanto irrealista por lo ambiciosa, pero de todos modos no deja de indicar tanto la continua búsqueda de adaptación de Chile a políticas de desarrollo a tono con los tiempos, como una suerte de política de Estado que se quiere coherente y a largo plazo. Con todo, el patrón

16 "Chile tendrá en octubre el Instituto Solar Minero", Periódico Lea (27/04/17).

central del Estado está teñido del histórico mandato neoliberal destinado a crear las condiciones para que las empresas productoras internacionales abocadas a la industria verde se instalen e inviertan en el país o que las empresas chilenas participen de las cadenas globales de valor.

En Argentina, los científicos más capacitados sobre células de energía han radicado en YTEC sus investigaciones desde el año 2014 y uno de los anhelos constantes ha sido contar con una planta piloto de producción de baterías, puesto que representaría tanto un empuje para la comercialización como un ámbito de experiencia en donde profundizar las investigaciones (Entrevista a Visintin, 2017) (un proyecto conjunto elevado a las líneas de financiamiento de ciencia del país entre la línea La Plata-Córdoba y Jujuy-Buenos Aires, llamado "Del Salar a la batería" no tuvo los recursos esperados, dando por tierra una coordinación potencial de las investigaciones, más aun, agudizando sus distancias). El gerente general de YTEC, Santiago Sacerdote, nombrado debido al cambio general de autoridades que propició al asumir el poder ejecutivo nacional macrista, se sumó al impulso para contar con una planta piloto pero los logros han sido relativamente escasos. En este sentido, la robustez del entramado científico local contrasta con la ausencia de iniciativas productivas y el casi inexistente apoyo del Estado para la aplicación de este conocimiento, lo cual origina límites a la investigación misma. Es un dato paradójico que en la Argentina el CONICET reporte contar con 234 investigadores abocados al litio[17] –entre miembros de carrera, técnicos y becarios–, que en la mayoría de los casos terminan por elaborar "conocimiento aplicable no aplicado" (Kreimer, 2003). Hace casi una década que el ex Ministerio de Ciencia viene intentando involucrarse en la cuestión litio –ha realizado múltiples encuentros y obtuvo buenos informes en el año 2014 (Industrialización del litio y agregado de valor local. Informe tecno-productivo) y en el año 2018 (Oportunidades y restricciones para la construcción de eslabonamientos en torno al litio en la Argentina) –, pero siempre termina naufragando en la medida en que se dice a sí mismo que es posible sostener un "sistema de innovación", cada vez más desfinanciado, sin importar las articulaciones con el entorno político y económico donde operar, el cual no hizo más que darle la espalda y mostrarle su ineficacia una y otra vez. En todos estos años, las autoridades del área de ciencia no

17 Consulta RRHH página web CONICET (Se seleccionó la palabra litio en la búsqueda de recursos humanos que alguno de sus trabajos contengan la palabra litio excluyendo el área de Ciencias Biológicas y de la Salud, que en la mayoría de los casos investigan el litio en tanto componente de psicofármacos).

han podido aplicar ni coordinar las investigaciones ni sostener un proyecto continuo respecto del litio, incluso contando con investigadores abocados al litio en muchas provincias.

En la provincia de Jujuy, con el cambio de gobierno en 2015 se profundizó la atención por el recurso, a lo cual se sumó el interés por las energías renovables, alineados con la intención del gobierno nacional de abrir al mercado esta fuente de recursos. A tono con ello, el día 23 de agosto de 2017 se ha creado por ley el Instituto de Energías Renovables que funcionará en el recientemente inaugurado Centro de Desarrollo General Savio. Es en Jujuy donde la empresa italiana Seri y JEMSE, en diciembre de 2017, anunciaron que se instalará una planta de producción de materiales activos, de material catódico para baterías, y otra de ensamble, asegurando que con el paso del tiempo buscará realizarse el proceso completo del salar a la batería en el país, con una inversión estimada en 60 millones U$D (donde tallaría una nueva empresa, Jujuy Litio). La firma provincial JEMSE deberá contribuir con un 60% del capital, la materia prima litio –asegurada así para cualquier operación global de la firma italiana– y gestionar el mercado de las baterías (siendo el más importante la reconversión de los buses urbanos, hecho que contrasta con la intención de importarlos con arancel reducido por parte del gobierno nacional, amén de que era una posibilidad que ya había sido recomendada al Ministerio de Ciencia en el año 2015 sin que nada se hiciera –Kloster *et al*, 2014–). Por su parte, Seri aportaría una tecnología que apenas maneja en su fase experimental, contando además que no es una gran empresa de baterías. Por si fuera poco, es un anuncio del cual no participa YTEC. En este caso, es realmente notorio el desbalance entre lo que debe aportar la provincia y lo que asume la firma trasnacional, de manera prístina si se lo contrasta con las iniciativas que realizan los países vecinos, a todas luces mucho más favorables. De todos modos, en Junio de 2019 finalmente parece concretarse la inversión italiana para construir en Jujuy una fábrica de ensamble, luego de celdas, y posteriormente dedicarse a materiales activos; y a modo de espejo se levantará una fábrica semejante en Italia (en los hechos contarán con litio a precio preferencial). De concretarse realmente la producción, restará ver si el Estado Nacional acompaña de modo firme una iniciativa que difícilmente pueda sobrevivir autónoma y que ciertamente no cuenta con la presencia de los científicos locales.

Además de los intentos de agregado de valor encarados por la provincia de Jujuy, hay otros dos en marcha. Por un lado,

YTEC posee una planta piloto de 300 mil dólares en su sede en Ensenada, provincia de Buenos Aires, con máquinas compradas a China con el objetivo de conocer la "escala" de fabricación y las problemáticas asociadas al escalado, pero la planta es de pequeña escala. Los materiales que utilizaría son los desarrollados por los científicos de Córdoba-La Plata-Catamarca (Entrevista a Visintín, 2017). Otro proyecto que se está afrontando a nivel planta piloto es el que encara Plaka, una mediana empresa de la provincia de Córdoba. Se trata de una planta piloto de celdas construida en la Argentina, con planos diseñados por colegas de República Checa y materiales desarrollados por científicos de la provincia. Empero, aunque permitiría hacer una batería cien por ciento argentina, "la tecnología va a ser obsoleta" (Entrevista a Leiva y Barraco, 2017). Estos últimos proyectos antes que beneficios económicos traerían la posibilidad de avanzar en el conocimiento científico, que hoy está limitado a la escala laboratorio: "Las dificultades asociadas al escalado sólo las conoceremos al escalar. Seguimos resolviendo problemáticas científicas pero no las que demanda una planta piloto o industrial" (Entrevista a Flexer, 2018). Existen otros proyectos de agregación de valor como Litarsa, pero es solo un anuncio antes que algo sólido, y en el camino ha quedado la posibilidad de que la Corporación América, una de las más grandes de Argentina, invierta en la producción de baterías (Entrevista a Visintin, 2017). Por último, el proceso termina con el ensamblado de la batería, etapa que no demanda gran saber científico y que en la Argentina actualmente se realiza a nivel industrial en dos empresas, Probattery y Plaka, y también existe una iniciativa como Dynami, dedicada a baterías de litio ultra finas, aguardando un mercado potencial significativo[18]. Estos espacios representan iniciativas con mayor o menor grado de robustez, pero que se encuentran dejadas a su suerte, sin un entorno que brinde condiciones para su despliegue, lo cual termina por presentar una constante enumeración de buenas intenciones de difícil concreción.

18 La tercera y medular etapa del armado de las celdas incluye la incorporación del BMS, el sistema eléctrico que controla el estado de carga y el estado de salud de la batería (SoC y SoH, respectivamente, por sus siglas en inglés). Este tema es uno de los desafíos tecnológicos que YTEC planteó a fines del año 2017 en su Laboratorio de Ideas (un espacio de encuentro entre la empresa y científicos de la región que busca forjar proyectos de colaboración). Se trata de un tema de relevancia considerando que el BMS es específico para cada tipo de baterías. En ese sentido, es importante destacar la existencia de una solicitud de patente, del Dr. R. H. Milocco "Método y Dispositivo para Determinar el Estado de Carga y la Capacidad de Baterías Recargables" que constituyen resultados promisorios para ser aplicados en la industria.

El Estado boliviano ha buscado intervenir y crecer en la confección de baterías de Ion-litio. En la zona potosina de Palca se encuentra en funcionamiento una planta ensambladora de baterías, comprada a la empresa China Linyi Gelon New Battery Materials Co. por un costo de 2,5 millones de dólares. Esta planta de ensamble posibilita la adquisición de experiencia en el tratamiento y comercialización de baterías. El gobierno plurinacional procuró reaccionar frente a los mayores obstáculos con los que se enfrenta el proyecto boliviano: la debilidad del tejido industrial y el poco desarrollo del entramado científico-técnico en el país. En primer lugar, los testimonios de quienes dirigen el tránsito actual de la "Fase III" –la que corresponde a la fabricación de baterías– resaltan la importancia del conocimiento, la tecnología y la innovación, de modo que mencionan la puesta en marcha en Palca del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Materiales Evaporíticos de Bolivia, con el propósito de acrecentar la producción de conocimiento local (Entrevista a Pozo, León y Carballo, 2017). En segundo lugar, en mayo de 2018 YLB ha realizado un *joint venture* con la alemana ACI System, una sociedad mixta donde la estatal boliviana tendrá 51% de participación, haciéndose de un mercado potencial con el que parecía no contar (Andrade, 2017). La propuesta aceptada a ACI System prevé la inversión de 1.300 millones U$D –la contraparte boliviana está cifrada en unos 900 millones U$D, de los cuales ya se ejecutaron el 50% en las fases preliminares– para la instalación de un complejo que incluirá plantas de hidróxido de litio, de cátodos y de baterías de ion-litio de diverso tamaño y potencia, fundamentalmente destinadas al mercado europeo, que utilizarán como insumo principal el carbonato de litio que producirá una fábrica estatal[19]. En principio, las dimensiones de la apuesta boliviana –que tiene por objetivo final una utilidad de 1000 millones U$D anuales– contrastan con la que puede llevar adelante Jujuy y aun con el entramado privado que busca emplazar Chile. El desafío de esta apuesta en el campo del crecimiento de valor es poder ejercer un influjo geoeconómico real frente al peso histórico de la industria alemana, siempre preparada para que las rentas de innovación queden de su lado. Paralelamente, Bolivia ha anunciado en el año 2019 un acuerdo con el consorcio chino Xinjiang TBEA Group-Baocheng para conformar una sociedad que industrializará reservas de litio y otros minerales de los salares de Coipasa y Pastos Grandes, con una inversión estimada de 2.300 millones de dólares,

19 "Bolivia adjudica a Alemania la construcción de su primera fábrica de producción de litio", Energía Estratégica (26/4/2018).

pero la particularidad reside en que la compañía estatal YLB contará con participación accionaria en la planta de baterías de litio en China.

Entretanto, una serie de anuncios de empresas transnacionales productoras de baterías aseguran que se radicarán en la región sin que expresen, por el momento, ninguna vinculación con la confección local de baterías. En Chile, las firmas chinas Vision Group, Kanhoo Group y MTL Shenzhen Group, junto a empresarios coreanos radicados en Chile prevéen invertir 2000 millones U$D en una planta para producir baterías de litio, en un horizonte de diez años, y utilizaría instalaciones que la Universidad de Chile posee en la Ruta 68. En Argentina, el gigante chino BYD proyecta instalar una fábrica de baterías para buses en Salta, pero es otro proyecto incierto. A su vez, Generals Motors menciona que invertirá 500 millones de dólares en las cercanías de la ciudad de Rosario para producir un modelo eléctrico, que afirma estará disponible para 2020[20]. No dejan de ser meros anuncios, pero a su vez puede colegirse que cuando sea efectivamente rentable se instalarán, y habrá que ver si por entonces existe la suficiente densidad regional como para blandir algún grado de autonomía. Siguiendo a Ariel Slipak y Santiago Urrutia[21], la competencia interlocal en cuanto a políticas ambientales y de "seducción a los inversores" que ofrezcan los mínimos costos para la fase extractiva que lleva a las provincias liíferas argentinas a competir entre sí, puede repetirse en cuanto a la normativa laboral o industrial para el conjunto de los países del hoy denominado "Triángulo del litio", que podrían, de no mediar el crecimiento del desarrollo local, terminar por convertirse en un "triángulo de la maquila de baterías de Ion-Litio".

Con todo, las políticas públicas entre los tres países, e incluso al interior de cada país, son tan diferentes entre sí, que las posibilidades de una política de integración regional para con el litio se encuentra realmente alejada. El hecho es problemático puesto que el sudeste asiático, Europa y el norte global en general, están desplegando un profuso entramado tecno-industrial en torno al litio y la transición energética, que luego de su consolidación será cada vez más difícil de disputar en términos locales.

20 "Grupo chino-coreano prevé invertir US$2.000 millones en planta para producir baterías de litio", Minería Chilena (6/11/2016). "Avanza un proyecto chino para instalar una fábrica de buses eléctricos en salta", TELAM (24/09/2017); "Generals Motors comenzará a vender autos eléctricos en el país este año", TELAM (13/02/2018).

21 Nos referimos a las ideas contenidas en el capítulo de ambos autores en este mismo libro.

Conjunción y disyunción de las esferas: política, industria y ciencia

Los acumuladores de energía son un componente básico de una sociedad posfósil, con redes de generación descentralizadas y vehículos impulsados por electricidad. Contar con el recurso litio es un aspecto relevante pero cobra sentido cuando hay una infraestructura científico-tecnológica e industrias con capacidad de agregarle valor, con más razón si concierne a líneas estratégicas de desarrollo contemporáneas, como es el caso de la industria verde base del nuevo paradigma energético (Fornillo, 2017). La experiencia histórica demuestra que la acción de insertar ciencia y tecnología en la trama misma del desarrollo, significa saber dónde y cómo innovar. En definitiva, evitar un papel subordinado de la región requiere gestar entramados productivos nacionales a partir de fronteras tecnológicas locales o bien diseñar nichos a los cuales volcar la producción, es decir, detentar una política estratégica precisa, sostenida, coordinada (Fornillo, 2015).

Entendemos que en el caso del litio, apostar por la cadena de valor que termina en la confección de baterías ofrece mayores ventajas que centrarse en la tecnología vinculada a la fase de extracción, básicamente porque el litio no es un elemento químico más, sino que forma parte de la nueva plataforma energética pos-fosil. Dicho rápidamente, estamos hablando ciertamente del nuevo paradigma energético que deberá hacer de base al conjunto de la sociedad por venir, donde las baterías de litio tienen un papel que cumplir, en el conjunto de la electromovilidad por ejemplo (por la que China entró estratégicamente gracias a la producción de vehículos eléctricos, y de hecho la Agencia Internacional de Energía calcula que habrá 70 millones de autos eléctricos en 2025 –AIE, 2017–). Por si fuera poco, el mercado de las baterías de litio es de otro orden si se lo compara con el mercado del elemento químico primero: el monto de suministro de baterías de Ion-litio sólo para vehículos ligeros puede llegar a 221.000 millones de dólares para 2024, mientras el litio, al momento en que Chile era el principal exportador mundial, representaba tan solo uno de los 30 minerales que componían el 1,4% de las exportaciones mineras del país[22]. El conjunto tecnológico del nuevo paradigma energético y su inmensa industria verde (tecnología eólica, solar, electromovilidad, redes inteligentes, nueva infraestructura energética, etc.) de la que forma parte las baterías de litio,

22 "The Global Market for Lithium Ion Batteries for Vehicles is Expected to Total $221 Billion from 2015 to 2024, According to Navigant Research", Business wire (17/02/16) y Ministerio de Minería de Chile, 2013.

hoy en día representa la transición energética que encaran algunos países, comparable al peso del petróleo o el combustible fósil en general, lo cual entendemos como el basamento de una alternativa completa hacia el posdesarrollo (Fornillo, 2017). La veta central del litio, por lo tanto, reside en su carácter estratégico dentro del nuevo paradigma energético, de aquí los beneficios de las políticas realistas que apunten a un mayor margen de injerencia económico-tecnológica en su ruta de valor y en la creación de su sistema sociotécnico. Obviamente, este camino está plagado de obstáculos para nuestros países, tan solo uno de ellos es que China supo que había que transitarlo y se abocó a dominarlo decididamente.

Sin embargo, es innecesario oponer la tecnología de extracción a las baterías, pues terminaría por reproducir en las ciencias sociales y humanas una polaridad especular que puede darse en las "ciencias duras" en la Argentina por ejemplo, cuya causa de fondo en realidad es la falta de financiamiento del sistema científico. El problema real es qué tipo de política de articulación científico-industrial propician los países a partir de un esquema que busque la mayor participación de rentas y controles tecnológicos locales. Por ello no se trata de discutir si "a" (extracción) o "b" (baterías), sino que lo importante es cómo se diseñan la política general en ciencia, industria, etc. En la Argentina, por caso, las chances de crear tecnología en torno a la extracción no son para nada evidentes, no por capacidad tecnológica sino por otras causas: un informe que procuró dar cuenta de las oportunidades de desarrollarse en relación a la extracción litífera aseguraba que las empresas transnacionales radicadas en los salares no tienen interés en adoptar métodos de extracción alternativos, que demuestran "poco interés" en explotar recursos que no se encuentren en sus modelos de negocios, que existe escasa capacidad para regular la actividad de las empresas y, aunque resulte increíble, "dificultades para acceder a los salares por parte de los investigadores de organizaciones públicas".

Aunque nos enfocamos en el "Triángulo del litio", queremos traer a colación una particularidad sudamericana que vale la pena considerar, el caso de Brasil[23]. A la hora de mapear las publicaciones científicas respecto a la "cuestión litio" no debemos dejar de mencionar aquí la presencia de Brasil como un actor importante en Sudamérica. En la búsqueda de documentos conteniendo la palabra "*lithium*" en el buscador Scopus y sin restringir a áreas de conocimiento, el total de trabajos publicados es de 3.593 entre los

23 Para una caracterización de la situación brasileña véase el capítulo de Elaine Santos y Ariel Slipak en este mismo libro.

cuatro países[24]. De éstos, la producción de Brasil es llamativamente superior: 2.519 documentos contra 628 documentos de Argentina, 436 de Chile y 10 procedentes de Bolivia. De hecho, Brasil se encuentra entre los 20 países con más trabajos publicados, con un total similar al de Holanda, Suecia o Polonia y superior al de Israel, Singapur o Bélgica. Si se agrega la palabra "*batteries*" a la búsqueda y se restringe por áreas de conocimiento, el "Triángulo del litio" más Brasil genera en conjunto 439 trabajos. Esta vez, encabeza Brasil (316), seguido por Chile (71), Argentina (70), y finalmente Bolivia con dos trabajos. En este caso, Brasil ocupa el puesto 24 en el ranking de países, presenta una tasa de crecimiento del número de documentos reportados más o menos constante e igual desde principios del siglo XXI, sin discontinuidades evidentes. Un punto a considerar dado que no suele no ser un país que se tenga en consideración cuando se trata de litio.

Ahora bien, Chile es un país que posee especiales condiciones para estimular la concreción de un nuevo paradigma energético, en buena parte porque lo ha definido como una política de Estado de aquí al año 2050 (MdE, 2018). Al contrario de lo que sucede en los países vecinos, carece de producción fósil de peso, la ciudad central de Santiago –donde vive casi el 40% de la población– acusa una contaminación ambiental de peligro, no posee restricciones para importar electromovilidad y además cuenta con condiciones muy propicias para la generación de energía renovable, sea solar, eólica o mini hidráulica. Si a eso se le suma un *elam* neoliberal general, compartido por los mayores partidos que gobiernan desde la posdictadura, y la decidida apelación a la inversión privada, no sería extraño que el estimulo al mercado de las nuevas industrias genere el beneplácito de las corporaciones globales, encontrando allí un espacio dónde radicar su producción. Ciertamente, en ningún momento se pensó en Chile realizar el pasaje completo que va del salar a la batería, lo que parece predominar es la intensidad de los extremos de ese tránsito, es decir, una especialización en la materia prima o una apuesta a la comercialización, a la entrada al mercado por la cima. La inquietud por los modos de comercializar los avances científicos es en Chile una constante,

24 Scopus es la base de datos más grande del mundo: concentra 22.878 revistas científicas de las 150.000 que, se estima, circulan en todo el globo (Cátedra CPS, 2015). Teniendo en cuenta que apenas el 20% de las revistas están indexadas, el universo Scopus representaría el 75% del total de publicaciones que pueden ser incluidas en indicadores bibliométricos. Para un debate sobre la utilización de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la producción científica véase Cátedra CPS, 2015.

bajo el despliegue de una suerte de apelación al realismo acerca de las posibilidades científicas, financieras y comerciales del país (aunque no carece de realismo, nunca faltó el argumento acerca de la inalcanzable cantidad de recursos que invierten los países centrales en investigación). El conjunto de los cerca de 24 millones de dólares anuales que deberán aportar SQM y Albemarle para investigación se busca contribuyan a conformar una suerte de *"energy valey"*, donde empresas, universidades e investigación se articulen para generar soluciones tecnológicas en el área del litio, la energía solar, la minería, el campo amplio de la "transición energética"[25]. Como contracara, la iniciativa privada es dueña de las posibilidades que se vislumbran, tal como afirma el vicepresidente de CORFO, Bitran: "si no hay financiamiento privado quiere decir que nos equivocamos"[26].

Desde que se crearon ciertos lineamientos para con el litio a partir de la reunión de la comisión nacional, CORFO considera poseer una idea renovada de lo que quiere para el recurso, aunque esa misma idea parece navegar en cierta continuidad. Su iniciativa consiste en fabricar materiales catódicos, lo cual supone una escalada de valor en la fase química del proceso con el objetivo de emplazar un *cluster* del litio. En este sentido, se trata de un proyecto que se asienta en una dinámica de la política pública chilena de hace más de cuarenta años: tener una perspectiva que busca el desarrollo por la vía de un capitalismo de corte decididamente aperturista, y que para alcanzarlo apuesta al mercado de manera constante. Esta es una de las causas por la que no sería extraño que Chile sea el país que más rápidamente concrete la electromovilidad, la asunción de generación renovable y la comercialización de baterías de industria extranjera. La pregunta es si ese desarrollo y capacidad tecnológica podrá tener un carácter local o será un conocimiento puramente privado, como sucede con la investigación sobre su propia actividad que lleva adelante SQM, la cual solo ha impactado en el dominio de patentes por parte de la empresa (recordemos que casi la totalidad de la generación, transmisión y comercialización de la energía eléctrica está en manos privadas en el país). La pregunta, a su vez, es si el desarrollo de un mercado puramente privado, sin control público de la tecnología y nula participación pública en el área energética, permitirá

25 "El "Silicon Valley del litio" que alista CORFO con platas de SQM y Albemarle: Licitación será en 2019", La tercera (5/09/2018).

26 Cita Bitran en: "La proyección de litio a futuro es extraordinariamente atractiva", Minería Chilena (12/7/2017).

acrecentar los márgenes de bienestar de la población o redundará en mayores niveles de acumulación del sector privado, reproduciendo las desigualdades. Igualmente, errada o no, lo cierto es que hoy Chile tiene una política para el litio.

La Argentina ha desestimado la asunción de una política para pensar el agregado de valor desde que asumió el macrismo. Si en el período político previo las intenciones de vincular el sector científico al industrial no fueron suficientes para gestar una real innovación, luego de ello existe una política decidida a vaciar las capacidades científico-tecnológicas del país como potencial herramienta para promover el desarrollo[27]. Durante el año 2017, el entonces Secretario de Minería de la Nación, Daniel Melián, al presentársele la inquietud de condenar al país a una actividad litífera meramente extractiva desatendiendo el agregado de valor, afirmó: "Eso es populismo puro, porque el desarrollo tecnológico no se compra en un kiosco. El único organismo público local que llegó al máximo de valor en el mundo ha sido la Comisión de Energía Atómica, que trabaja desde hace 70 años"[28]. Quitando el desconocimiento de que la electroquímica en nuestro país cumple exactamente siete décadas, que del actual centro dedicado a baterías –INIFTA– partieron electroquímicos a trabajar a la productora de aluminio Aluar[29] de Puerto Madryn en 1971, que en apenas tres años de contar con los laboratorios aptos se han logrado tener baterías a escala laboratorio empleando materiales propios prometedores, sus palabras tornan patente la desatención del Estado nacional a la cadena de valor del litio y una ignorancia comprobada acerca de lo que implica el desarrollo de un país. Resulta al menos llamativo que el Servicio Geológico Minero Argentino haya elaborado un informe detallado de las tenencias disponibles de litio en la Argentina para su explotación –*Argentina Lithium Map*– junto con el Servicio Geológico de Estados Unidos, y se apreste a acompañar una iniciativa semejante con la República Popular China,

27 El cambio de gobierno en 2015 modificó las políticas de Ciencia y Técnica a nivel nacional. A pesar de la vigencia del Plan 2020, el presupuesto real de ciencia y tecnología cayó sistemáticamente desde 2015 en adelante; se restringieron las vacantes para ingresar a la carrera de investigador/a científico/a de CONICET, además del desmembramiento de áreas estratégicas centrales como Fabricaciones Militares, Empresa Argentina de Soluciones Satelitales, Producción Pública de Medicamentos, Instituto Nacional de Tecnología Industrial y el Plan Nuclear Argentino, entre otras.

28 "Litio: el oro blanco de la Argentina", La Nación (3/9/17).

29 Aluar (Aluminio Argentino S.A.) es una empresa de capitales argentinos. Es la única empresa que produce aluminio primario en Argentina y una de las más grandes de Sudamérica.

hecho que no induce a las autoridades a preguntarse por qué las dos mayores potencias globales ofrecen su contribución a conocer de manera fehaciente las reservas de litio local. La Argentina posee materias primas claves, tiene conocimientos en productos químicos secundarios y la única etapa que no se estaría abordando en el país es la del armado de celdas de baterías, la parte más costosa desde el punto de vista técnico. El sistema científico abocado a la investigación de litio persevera con sus desarrollos pero desligado de cualquier instancia de producción, dado que el sector empresarial tampoco realiza una inversión de peso en el área química primaria o secundaria, o en la industria de baterías, y además el gobierno no lo obliga ni lo estimula. Nos encontramos, en definitiva, frente a una lógica de corte extractiva, ya que predominan corporaciones globales que exportan el carbonato de litio sin ninguna agregación de valor, favorecida por un Estado que le crea las condiciones para llevarlo adelante. Así, la política pública, la industria y el sistema científico se hallan desarticulados y cada esfera languidece de forma aislada. Son estas condiciones de subordinación las que debería interesar discutirse en ese país, fuente básica de lo que René Zavaleta Mercado ha llamado –tan bellamente– el "excedente infecundo" (Zavaleta, 1986).

Actualmente, solo el gobierno de Jujuy pareciera encarar acciones tendientes a integrar verticalmente la cadena de agregación de valor, aunque se ve limitado por el presupuesto provincial y la casi nula participación del Estado Nacional, quedando subordinado a la lógica de las empresas privadas. Y el propio impulso de Jujuy, de una escala mucho menor que en los países vecinos, adolece de limitaciones propias. Por ejemplo, ni siquiera se plasma la posibilidad de dedicarse a la química primaria: La implementación de la planta piloto para producción de hidróxido de litio no se concreta por falta de financiamiento y por "falta de carbonato. JEMSE podría garantizarlo, pero no ha mostrado interés" (Entrevista a Flexer, 2018). Desde sus inicios JEMSE estuvo abocada a captar la renta -bajo un desempeño particularmente gris-, de los emprendimientos privados mineros más que a oficiar de palanca del desarrollo (Fornillo, 2015). Particularmente en Jujuy, donde pareciera haber un plan provincial, los proyectos son de diferente envergadura en cada eslabón de la cadena, se encuentran segmentados y se encaran a partir de distintos entramados público-privados. Habrá que ver si esta atomización inicial logra superarse en pos de un proyecto mayor, si es posible avanzar luego en las etapas que hoy no se están contemplando, qué rol ocupará el conocimiento desarrollado en el ámbito

público en todo el proceso y si el resultado final será en términos de beneficios para la población local que hoy es deliberadamente desoída[30]. En definitiva, el mapa de actores comprometidos con la agregación de valor del litio en la Argentina es, como se puede observar, por lo menos escueto. Un gobierno nacional desinteresado; un gobierno jujeño jugando su propio juego a través de JEMSE, en relativa asociación con YTEC e inciertos capitales extranjeros; una serie de pequeñas y medianas empresas encarando algunos proyectos acordes a sus posibilidades; un Ministerio de Ciencia que hace años aborda una y otra vez el problema pero que contribuye siempre de modo escuálido sin una apuesta de peso, científicos dedicados a cumplir con su rol de científicos y a generar acercamientos y contactos para poder "transferir" esos conocimientos al sector industrial. En suma, la Argentina evidentemente no posee una política nacional estratégica respecto del litio. Restará ver si la iniciativa de Jujuy de participar en la cadena de valor, particularmente en baterías, logra superar los escollos que le presenta un entorno de por si poco propicio.

Resulta ilustrativo presentar el recorrido de una empresa como Probattery –una de las firmas más grandes de la Argentina en el comercio de baterías–, puesto que en mayo de 2012 realizó una inversión que le permitió incrementar la producción y ensamblaje de baterías para el programa Conectar Igualdad, siendo uno de los principales proveedores de baterías a las escuelas públicas. En su plan de inversiones, Probattery evaluó recurrentemente la oportunidad de dedicarse a la producción de celdas de batería, no se efectivizó debido a que, entre otras cosas, el costo de producción en su momento era mayor a un 25% respecto a una batería importada desde el exterior. Sin embargo, Probattery continuó abasteciendo al programa Conectar Igualdad y se consolidó en la fase de ensamble (Fornillo, 2015). La llegada del macrismo cerró el programa Conectar Igualdad, de modo que de Probaterry se vio en la obligación de reducir su planta de 100 a 25 trabajadores, con la perspectiva de reducirla aun más y descontando de hecho toda posibilidad de crecer en la cadena de valor. Bajo este panorama, gracias a una iniciativa de su socio chino, reorientó su actividad a buscar una explotación de litio, asumiendo que la extracción de litio era una salvación posible ante una realidad que en nada estimula la incorporación de valor que supo proyectar en su proceso productivo (Entrevista a Freund, 2017).

30 Para un análisis de la dinámica comunitaria-territorial en cada uno de los países del "Triángulo del litio", véase el capítulo de Melisa Argento y Florencia Puente en este mismo volumen.

En Bolivia, para consolidar la producción de los recursos evaporíticos del salar de Uyuni se culminó la construcción la planta industrial de potasio –a cargo de la empresa China CAMC Engineering Co.–, se están formando las líneas de piletas que se precisan para depurar la concentración de diferentes compuestos químicos, se encuentra en marcha la construcción de la planta industrial de carbonato de litio[31]. "Ya no necesitamos de la suerte", afirmó Gonzalo Alfaro, Jefe de Seguridad en las instalaciones del salar, y pareciera ser cierto (Entrevista, 2017). La proyección estratégica del proyecto litífero apunta a dos niveles. En primer término, volver sustentable económicamente el emprendimiento a partir de la explotación de potasio, del cual producirá 350.000 toneladas anuales (que representa 75 millones U$D aproximadamente[32]), para de este modo ganar en independencia operativa y evitar la ansiedad por el "despegue" de la explotación. Al mismo tiempo, la constitución de la empresa mixta con ACI system le promete un nicho donde volcar su producción de litio.

En paralelo, la reciente creación de Yacimientos de Litio Bolivianos en febrero de 2017 apunta a darle consistencia al proyecto litífero y se encamina en la dirección más certera: separar la empresa de su actual cobertura minera –más aun sabiendo del peso que la Corporación Minera de Bolivia y el Ministerio de Minería tienen en Bolivia–, brindarle mayor autonomía y, fundamentalmente, darle a la "cuestión litio" integralidad en toda la cadena para incorporarla a un proyecto energético nacional. Bolivia quiere pensarse a sí misma como un "pulmón energético regional", y una vía consiste en situar a la energía del litio al interior de una transformación del paradigma energético que incluye pero también excede la "cuestión litio". En efecto, el Estado ha elaborado una política integral para con el recurso, busca intervenir en toda la cadena productiva de la energía del litio y la investigación se encuentra vinculada de modo directo al entorno productivo. El proyecto de *joint venture* con la empresa alemana en 2018, donde el YLB mantiene el control aunque debe decidir todo por consenso, parece situarla de lleno en el campo de la producción de baterías. Apuntar a una firma alemana es certero ya que Europa no posee fábricas de baterías importantes pero sí una industria automotriz gigante, y hoy está perdiendo peso y competitividad futura en manos de Asia, de modo que le es vital entrar en carrera.

31 Parte de la información fue recabada de primera mano en la visita al complejo productivo del Salar de Uyuni durante el mes de febrero del año 2017.

32 www.indexmundi.com Octubre 2018.

Empero, como dijimos anteriormente, todavía está por verse si podrá torcer el peso de un proyecto que la Comunidad Europea asume en conjunto: la realización de baterías es el primero paso de un plan industrial futuro de Alemania y Francia para todo el continente. En otras palabras, las chances de que Bolivia quede subordinada a la lógica de sus socios mayores son amplias. A su vez, la estipulación de una participación boliviana en una planta de baterías China abre otro escenario de por sí singular. Otra mención de alerta, en este punto, reenvía a los problemas ambientales de la lógica extractiva.

En Bolivia la presencia del Estado Plurinacional en los hechos suplanta al sector empresario y aviva las capacidades tecnológicas, vía de desarrollo usual en países marginales. La importancia de este impulso puede colegirse de las declaraciones del propio vicepresidente, Alvaro Garcia Linera: "Uyuni es nuestro banco del siglo XXI, ahí está nuestro destino (...) La inversión en litio para nosotros es de carácter estratégico. Permitirá a Bolivia producir baterías de litio [y] cloruro de potasio para la agricultura"[33]. No es posible saber si el proyecto boliviano de recursos evaporíticos logrará sortear las dificultades que se le presentan. En los hechos, es entendible la apuesta por soportar un desarrollo estratégico sobre la base de las propias capacidades con las que cuenta el país, antes que nada a la luz de la histórica sangría de recursos en manos ajenas. Este proyecto es indisociable de la historicidad que posee la extracción del litio en Bolivia y del papel protagónico que han tenido las comunidades originarias en ella, para imprimirle el actual rumbo. Resta ver si el entorno contextual que baña esta voluntad política abre la posibilidad para trascender una visión industrialista y afianzar una alternativa al desarrollo clásico.

33 "La inversión en litio para nosotros es de carácter estratégico", COMIBOL Prensa (26/09/2017).

Bibliografía

AIE (2017) *Global EV Outlook*. Disponible en: www.iea.org

Andrade, M. (2017) *La industrialización del litio en Bolivia*, CIDES-UMSA, Bolivia.

Baltra Aedo, G. (1985) "El litio. Tercera oportunidad para Chile", en *Creces. Ciencia y Tecnología*, Universidad Diego Portales, Chile.

Baran, E. (ed.) (2017) *Litio. Un recurso natural estratégico. Desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas,* Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Argentina.

Bitran, E. (2017) "Estrategia e institucionalidad para la transformación digital de la producción y los servicios" en *5to Summit País Digital*, Chile. Disponible en: www.slideshare.net/PASDIGITAL/pais-digital-bitran

Calla Ortega, R. (2014) "Impactos de la producción industrial del carbonato de litio y del cloruro de potasio en el salar de Uyuni", en: Guzmán Salinas (ed.) *Un presente sin futuro. El proyecto de industrialización de litio en Bolivia*, CEDLA, La Paz.

Catalano, L. (1964) *Boro – Berilio – Litio*, Ministerio de Economía de la Nación, Secretaría de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería, Buenos Aires.

Cátedra CPS (2015) "Publicaciones científicas ¿comunicación o negocio editorial?" Disponible en: www.blogs.unlp.edu.ar/catedracps/documentos/

Claros, J. (2009) "La Universidad Autónoma Tomas Frías y su estrategia de aprovechamiento integral de los recursos naturales de la cuenca del salar de Uyuni", mimeo.

Claros, J. (2012) "El litio del salar de Uyuni. Innovación-tecnología-explotación", mimeo.

Clorar (2017) "Producción de litio metálico", en Taller "Desafíos y oportunidades de la industrialización del litio en Argentina", 29 de noviembre de 2017, Gobierno de Jujuy, MINCYT, BID, Jujuy.

Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) - Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) (2001) *Resumen de la Mesa Redonda: El estado de la investigación científica y tecnológica sobre el litio en Chile y sus perspectivas*, Gobierno de Chile, Chile.

Córdoba, M. (1983) "Litio: bases para una estrategia de desarrollo", en *Creces. Ciencia y Tecnología*, Universidad Diego Portales, Chile.

Departamento de Ingeniería de Minas (2002) *Estudio Económico - Jurídico de una Eventual Liberalización de la Explotación y Comercialización del Litio. Informe Final. Proyecciones e Impactos*, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Chile.

Echazú Alvarado, L. A. (2015) “Un proyecto 100% estatal. Industrializando carbonato de litio y cloruro de potasio con dignidad y soberanía” en Nacif, F. y Lacabana, M. (coord.) *ABC del litio sudamericano,* CCC-Universidad de Quilmes, Buenos Aires.

Fornillo, B. (coord.) (2015) *Geopolítica del litio. Industria, ciencia y energía en Argentina*, El Colectivo-CLACSO, Buenos Aires.

Fornillo, B. (2016) *Sudamérica futuro. China global, transición energética y posdesarrollo*, El Colectivo-CLACSO, Buenos Aires.

Fornillo, B. (2017) “Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: Antropoceno, geopolítica y posdesarrollo”, en *Prácticas de Oficio*, N° 20, IDES, Buenos Aires.

Kloster, M.; Castello, A.; Porta, F., Baruj, G. e I. Zweig (2014) *Industrialización del litio y agregado de valor local: informe tecnoproductivo*, CIECTI-MCyT, Argentina.

Kreimer, P. (2013) “Conocimientos científicos y utilidad social”, en *Ciencia, Docencia, Tecnología*; vol. XIV, UNER, Argentina.

Lagos, G. (1984) “La tecnología del litio y su disponibilidad en nuestro país”, en *Creces. Ciencia y Tecnología*, Universidad Diego Portales, Chile.

Lagos, G. (2012) *El Desarrollo del Litio en Chile: 1984□2012*, Centro de Minería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.

Lagos, G. (2017) *El Desarrollo del Litio en Chile: 1984-2017*, EDITEC, Santiago de Chile.

López Hurtado, J. (2014) “Modelos interpretativos de la relación estado-empresa-universidad”, en *Clío América*, N° 15, Universidad del Magdalena, Colombia.

Nacif, F. (2012) “Bolivia y el plan de industrialización del litio. Un reclamo histórico”, en *Revista de la CCC*, N°14/15, CCC, Buenos Aires.

Poveda, P. (2014) “Impacto económico de la industrialización del litio del salar de Uyuni en la región”, en Guzmán Salinas (ed.) *Un presente sin futuro. El proyecto de industrialización de litio en Bolivia*, CEDLA, La Paz.

Sabato J. A. y Botana N. (2011) “La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina”, en Sabato, J. (comp.) *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*, Ediciones Biblioteca Nacional, Colección PLACTED, Buenos Aires.

Ströbele-Gregor, J. (2015) *Desigualdades estructurales en el aprovechamiento de un recurso estratégico La economía global del litio y el caso de Bolivia*, Working Paper Series, N° 79. Disponible en: www.desigualdades.net

Townley, B.; Diaz, A. y Luca R. (2018) *Potencial de exploración y*

explotación de recursos de Cobalto en Chile, Universidad de Chile-CORFO, Chile.

Zavaleta, Mercado, R. (1986) *Lo nacional popular en Bolivia*, Siglo XXI, México.

Entrevistas

Argentina

Barraco, Daniel. Investigador CONICET-Cordoba, 2018

Colet, Juan. Investigador CONICET, CONEA, 2013

Flexer, Victoria. Investigadora CONICET, Jujuy, 2018

Freund, Guillermo. Director de Probattery, 2017

Leiva, Ezequiel. Investigador CONICET-Cordoba, 2018

Simone, Hector. Presidente del CIDMEJU, 2018

Spadillero, Bruno. Empresa Clorar de Santa Fé, 2018 (comunicación personal)

Visintin, Arnaldo. Investigador CONICET-INIFTA, La Plata, 2017

Bolivia

Alfaro, Gonzalo. Jefe de seguridad de instalaciones Uyuni, Uyuni, 2018

Carballo, Ronandt. Director de Electroquímica y Baterías de GNRE, La Paz, 2017

Claro, Jaime. Universidad Tomás Frías, Potosí, 2017

Córdoba, Héctor. Ex presidente Corporación Minera de Bolivia, La Paz, 2017

León, Graciela. Área operativa GNRE, La Paz, 2017

Montenegro, Juan Carlos. Ex director área operativa GNRE, La Paz, 2017

Pozo, Aleida. Área operativa GNRE, La Paz, 2017

Chile

Alee, Jaime. Centro de Energía, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2017

Desormeaux, Daniela. Manager General Signumbox, 2017

Ebensperger Jessen, Arlene. Directora Ejecutiva, CORFO, 2017

Gimenez, Daniel. vicepresidente de SQM, 2017

Gonzalez, Guillermo. académico en física de la Universidad de Chile, 2017

Grageda Zegarra, Mario. CELIMIN, correo personal, Chile, 2017

Lagos, Gustavo. Académico de Ingeniería en Minas de la Pontificia Universidad Católica, 2017

Mata, Manuel. Co fundador Eli-Batt SpA, 2017

Datos y Estadísticas

CONICET (cantidad de personal cuyo título de investigación contiene la denominación “Litio”. www.conicet.gov.ar).

Indexmundi (www.indexmundi.com)

Documentos de Estado (Argentina, Bolivia y Chile)

Constitución del Estado Plurinacional de Bolivia (2009)

Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos (GNRE) (2016) Memorias. Bolivia.

Acuerdo CORFO-Rockwood

Ministerio de Energía de Chile (MdE) (2018) Energía 2050. Política energética de Chile

Ministerio de Minería de Chile (MdM) (2013) Anuario de la Minería, 2013

Comisión Nacional de Energía (BNE) (2016) Balance Nacional de Energía, Chile.