

2.5. ¿QUÉ HACEMOS CON EL LITIO? POLÍTICAS PARA LA CREACIÓN DE CAPACIDADES PRODUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS EN ARGENTINA, BOLIVIA Y CHILE

MARTÍN OBAYA*

INTRODUCCIÓN

El litio es uno de los metales críticos para la transición energética por ser un insumo insustituible en la producción de las baterías utilizadas para la electromovilidad. Su demanda ha crecido de manera acelerada en la última década, y para el futuro se proyecta un incremento aún mayor (IEA, 2021).

El “triángulo del litio”, integrado por la Argentina, Bolivia y Chile, concentra el 56% de los recursos a nivel mundial (USGS, 2022). Se trata de un espacio geográfico que comprende un conjunto de salares con salmueras ricas en este metal, ubicados en los Andes Centrales de América del Sur, a una altura media de unos 4000 metros sobre el nivel del mar.

En esta región, se registra una progresiva convergencia en las narrativas sobre el litio, en favor de un “imaginario sociotécnico” que concibe al litio como un recurso que puede contribuir al desarrollo económico (Barandiarán, 2019). Ello no significa, sin embargo, que este imaginario se haya cristalizado de manera homogénea en las políticas públicas. Prevalece al interior de la región una gran heterogeneidad de enfoques e instrumentos que reflejan la convivencia no solo de visiones políticas distintas, sino también de regímenes jurídicos que condicionan el tipo de instrumentos que pueden utilizarse en cada caso.

Este artículo tiene como propósito ofrecer, para cada uno de los países del triángulo, una caracterización de aquellas políticas públicas que aspiran a contribuir a la creación de capacidades productivas y tecnológicas, y que suponen la

participación de actores del sistema de ciencia y técnica. Las perspectivas adoptadas, como se verá, difieren profundamente y dan lugar a distintas acciones, con un variado grado de articulación, que no en todos los casos configura una “estrategia”.

El artículo se estructura en cuatro secciones. En la primera se ofrece una descripción de los principales usos del litio, sus principales productores y la cadena de valor de baterías de ion de litio, que es la principal fuente de demanda del recurso. En la segunda sección, se analizan los principales rasgos de los regímenes jurídicos que regulan la actividad litífera en la Argentina, Bolivia y Chile, ya que dan indicaciones sobre las visiones estratégicas predominantes y condicionan el menú de instrumentos de política que pueden utilizarse. La tercera sección se concentra en el análisis de las políticas públicas dirigidas a crear capacidades productivas y tecnológicas vinculadas al litio. En la cuarta sección, se ofrecen algunas ideas sobre las áreas que presentan mayores oportunidades y aquellas que, en cambio, son más desafiantes para el desarrollo tecnológicos de los países de la región.

1. EL LITIO: INSUMO CRÍTICO EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Hasta la década de 1990, el litio tenía distintos usos industriales, entre los que se incluía la fabricación de cerámicos y vidrios, grasas y lubricantes, medicamentos e incluso la producción de tritio para armas nucleares (Christmann *et al.*, 2015; Baran, 2017). A partir del lanzamiento comercial de las baterías de ion de litio en

33

* Investigador de CONICET. Director del Centro de Investigaciones para la Transformación de la Escuela de Economía y Negocios de la Universidad Nacional de San Martín (CENIT-EEyN-UNSAM).

dispositivos electrónicos por parte de Sony, en 1991, éstas ganaron terreno como fuente de demanda de litio. En 2017, las baterías explicaban el 41% de la demanda de litio, mientras que el resto estaba explicado por otros usos industriales. Con la aceleración de la electromovilidad en los últimos años, las baterías pasaron a ser la principal fuente de demanda de litio y se proyecta que en 2025 explicará el 76% de la demanda total (Azevedo *et al.*, 2018). Así, el litio se consolidó como un insumo crítico de la transición energética. Los países que lideran este proceso dedican cada vez más esfuerzos en procurarse un abastecimiento seguro del recurso (Kalantzakos, 2020; Riofrancos, 2022). En términos generales, el nuevo paradigma económico hacia el que conduce la transición energética es mucho más intensivo en metales que el actual, basado en combustibles fósiles. El litio encabeza las proyecciones de expansión en las próximas dos décadas. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, la demanda de litio crecerá entre 13 y 42 veces, según se verifique un escenario de políticas declaradas (*stated policies scenario*) o uno de desarrollo sostenible (*sustainable development scenario*), respectivamente (IEA, 2021).

Vale la pena detenerse brevemente en el análisis de la cadena de valor de las baterías de litio, ya que ha sido objeto protagónico de las políticas de ciencia y técnica de los países sudamericanos ricos en este recurso. En los tres miembros del triángulo del litio, los instrumentos de promoción de ciencia y técnica vinculados a la industria del litio han dado un lugar central al desarrollo de capacidades en el área de baterías.

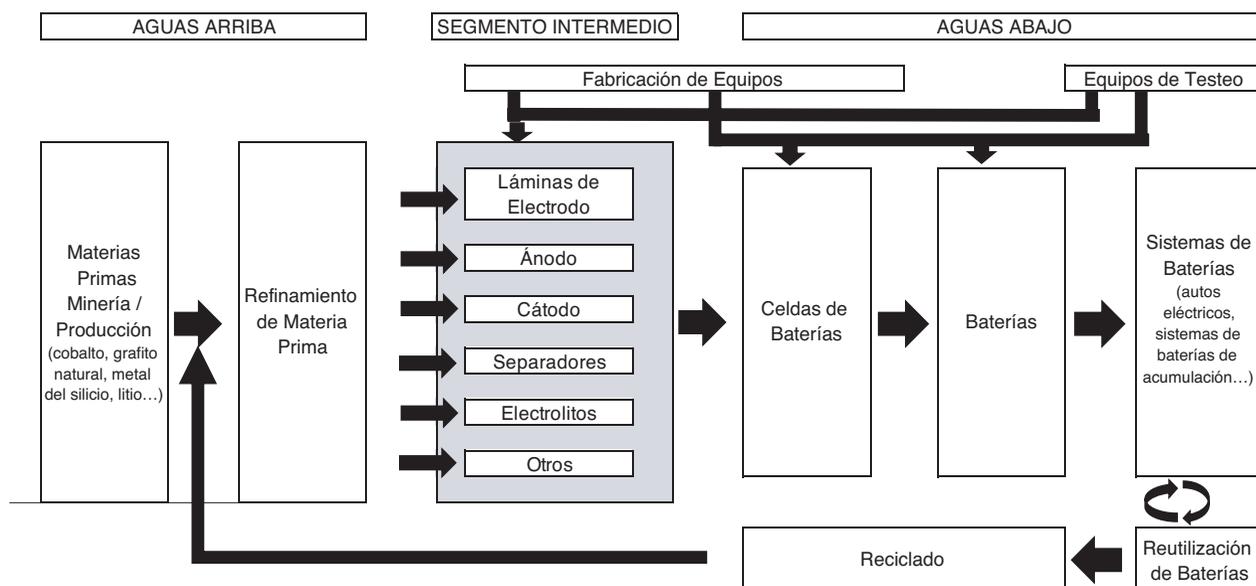
En un contexto de expansión sostenida de la electromovilidad, la aspiración de desarrollar capacidades en esta área podría resultar una elección natural. Sin embargo, como se discutirá, el hecho de contar con abundantes recursos

de litio está lejos de ofrecer una plataforma suficiente para el desarrollo de ventajas competitivas dinámicas en la producción de baterías. La cadena de valor de baterías de ion de litio incluye actividades de muy distinta naturaleza, que requieren recursos y complejas capacidades de diferente tipo. Actualmente, la distribución reconoce un patrón de especialización bipolar, según el cual, por un lado, se encuentran los países productores de recursos y compuestos de litio, y por el otro, los países productores de electrodos, celdas y paquetes de baterías y automóviles. El único país que ha logrado una integración vertical de la cadena ha sido China, que tiene presencia en todos los eslabones productivos.

La cadena de valor de baterías de ion de litio, cuya representación simplificada se encuentra en la **Ilustración 1**, podría dividirse en tres segmentos principales. El primer segmento corresponde a las actividades comúnmente denominadas “aguas arriba”, que incluyen la extracción y concentración del litio, y la refinación y el procesamiento para la producción de compuestos (por ejemplo, carbonato de litio o hidróxido de litio). Los países del triángulo del litio tienen sus principales depósitos en salmueras que se encuentran en salares altoandinos. En conjunto, explican el 56% de los recursos identificados a nivel mundial y aproximadamente el 80% de aquellos concentrados en salares. Este tipo de depósito, por lo general, permite la producción de compuestos de litio a menor costo que, por ejemplo, los de roca mineral localizados en Australia (Jones *et al.*, 2021).

En los depósitos basados en salares, el litio se encuentra disuelto en unas pocas partes por millón en la salmuera. Para la concentración del recurso, se utiliza un método comúnmente denominado método “evaporítico”. La salmuera es bombeada hacia grandes pozas, donde el litio

Ilustración 1. Segmentos de la cadena de valor de las baterías de ion de litio



se va concentrando por acción de la evaporación solar, el viento y la aplicación de reactivos. Una vez que se han alcanzado niveles de concentración de alrededor de 6000 partes por millón, el concentrado es procesado en una planta de recuperación. El ciclo completo toma entre 12 y 24 meses, dependiendo de las condiciones climáticas (por ejemplo, la presencia de lluvias tiene un impacto negativo, ya que diluye la salmuera). Durante el proceso se remueven las impurezas a través de un proceso químico hasta la obtención de carbonato de litio (Flexer y otros, 2018).

La participación de la región en la producción mundial es sustancialmente menor a la que tiene en términos de recursos. Chile fue durante algunos años el mayor productor del mundo, pero en los últimos años se vio relegado por la expansión australiana. Argentina, por su parte, a pesar de contar con más de 40 proyectos en exploración, solo tiene dos operaciones en producción: inauguró la última en 2015 y espera un nuevo proyecto debería ponerse en marcha en 2023. Bolivia cuenta con el mayor volumen de recursos identificados del mundo, presentes en salar de Uyuni; sin embargo, aún no ha logrado producir compuestos de litio a escala industrial.

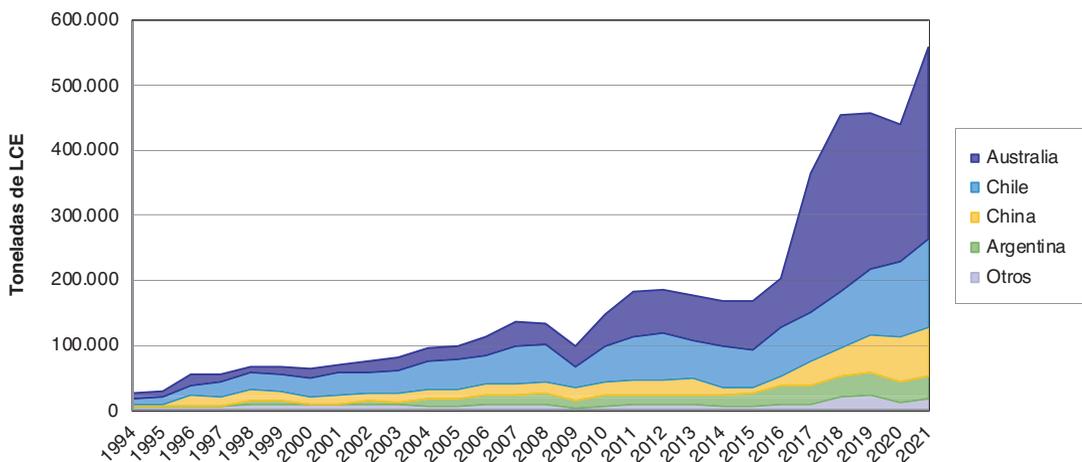
La declinación relativa de la región frente al resto del mundo se explica por una combinación de factores, cuyo desarrollo excede el espacio de este artículo. En primer lugar, se debe señalar que, con las técnicas disponibles, los proyectos en salares demandan tiempos de desarrollo que son más extensos que los de mineral de roca. Como se verá en la segunda sección, con la excepción de la Argentina, los regímenes jurídicos del triángulo del litio no autorizan o ponen fuertes condicionamientos a la inversión privada.

El segmento intermedio de la cadena de valor corresponde a la producción de los componentes de la batería. El cátodo es aquel que utiliza litio y explica la mayor parte del costo de la celda (Hofer, 2020). Si bien existen distintas tecnologías de cátodos de baterías, que combinan distintos minerales (níquel, manganeso, hierro, cobalto, entre otros), el litio es el único que está presente en todas ellas. La producción de cátodos se concentra especialmente en Asia: China explica entre el 30-42% de la producción, Japón entre el 30-33%, y Corea del Sur entre el 7-15%. Europa es otro centro importante de producción con aproximadamente el 30% de la producción (Bridge y Faigen, 2022).

Finalmente, el segmento aguas abajo corresponde a la producción de celdas de batería y el armado de los módulos y paquetes que son utilizados en distintos bienes finales. Como se ha mencionado, la principal fuente de demanda corresponde actualmente a los vehículos eléctricos. La producción de celdas de baterías se encuentra aún más concentrada que la de cátodos en términos geográficos. En 2021, China explicó el 79% de la capacidad mundial, mientras que el resto de Asia aportó el 8,5%. Muy relegadas quedan Europa y América del Norte, que dan cuenta del 6,8% y 5,5%, respectivamente.¹

Es importante también tener en cuenta la distribución geográfica de las capacidades de innovación, ya que dan cuenta de los desafíos que enfrentan los países que aspiren a formar parte de este club restringido. Moreno-Brieva y Marin (2019) han calculado que, entre 1900 y 2014, el 90,5% de las aplicaciones de patentes relacionadas con baterías de litio estuvieron explicadas por Corea del Sur, Japón, los Estados Unidos, China y Alemania. En lo que respecta específicamente a las baterías secundarias de

Gráfico 1. Evolución de la producción de litio (1998-2021; LCE*)



Fuente: USGS* Carbonato de litio equivalente

1. Fuente: Benchmark Mineral Intelligence.

ion de litio, que son aquellas que pueden recargarse, la participación de estos países aumenta a 95,7%.

La actividad de reciclado es aún marginal en la cadena de valor. Las técnicas para lograr niveles de recuperación eficiente se encuentran aún en fase de desarrollo y, por lo tanto, el volumen de negocios en este segmento es todavía muy pequeño (Harper y otros, 2019; Baum y otros, 2022). Algunas proyecciones sugieren que la recuperación a partir del reciclaje sería una fuente importante de insumos a partir de la segunda mitad de la década de 2030 (Jiménez y Sáez, 2022).

2. RÉGIMENES JURÍDICOS EN EL TRIÁNGULO DEL LITIO

Antes de avanzar con el análisis de las políticas para el desarrollo de capacidades productivas y tecnológicas vinculadas al litio, es necesario caracterizar brevemente los regímenes jurídicos que regulan la explotación y el uso del litio en cada uno de los países de la región. Esta dimensión normativa es muy relevante ya que permite comprender el “espacio de política” con el que cuentan los gobiernos. Como se verá en la sección siguiente, en el caso de Bolivia, y en menor medida en el de Chile, se observa que el marco regulatorio (o contractual en el caso de Chile) ha sido diseñado en función de los objetivos estratégicos que los gobiernos se plantearon en un determinado momento con relación al litio.

El **Cuadro 1** sintetiza las principales características de los regímenes normativos en Argentina, Bolivia y Chile, con relación a algunas dimensiones importantes. La primera dimensión se refiere al carácter genérico o específico del régimen jurídico que regula la actividad litífera. En Bolivia y Chile, el litio ha sido declarado recurso estratégico no concesible a privados. En el primer caso, la decisión se tomó en la década del 2000, por su potencial contribución al desarrollo económico; y en el segundo, en 1979, por haber sido declarado material de interés nuclear en la década precedente. En consecuencia, en ambos casos, el litio está regulado por una normativa específica que reserva su explotación para el estado o, en su defecto, establece en qué condiciones los actores privados podrían participar de la industria.²

En la Argentina, por el contrario, el litio queda encuadrado dentro del marco jurídico general, cuyos pilares son la Constitución Nacional, el Código Minero y la Ley de Inversiones Mineras. Este régimen se caracteriza por su naturaleza federal y abierta al capital privado. A diferencia de sus vecinos, en la Argentina son las provincias las que tienen el dominio originario de los recursos y las competencias para su gestión. El régimen permite a las autoridades provinciales competentes otorgar concesiones legales a personas jurídicas o físicas para su explotación. En otras palabras, se admite la privatización de las operaciones de minería de litio y no existen mecanismos para controlar las estrategias empresariales de producción y comercialización de los productos elaborados.

Cuadro 1. Principales características de los marcos normativos en el triángulo del litio

Dimensión	Argentina	Chile	Bolivia
Normativa específica para el litio o general para la minería	General para la minería (con legislación específica a nivel provincial)	Litio recurso estratégico Normativa específica	Litio recurso estratégico Normativa específica
Régimen de gobernanza de litio (centralizado o federal)	Federal	Centralizado	Centralizado
Cobertura de la normativa	Actividades vinculadas a la explotación del recurso	Actividades vinculadas a la explotación del recurso con reserva de cuota para la industrialización	Actividades vinculadas a la explotación e industrialización del recurso
Modalidades de explotación al recurso	Concesión a empresas privadas Jujuy: participación accionaria de empresa del Estado provincial	Contratos entre CORFO y privados	Empresa pública

Fuente: elaboración propia

2. Las propiedades constituidas (o en trámite de constitución) con anterioridad a la entrada en vigor de la normativa de 1979 quedaron exceptuadas de la norma. Dentro de esta excepción se encontraban las propiedades de CORFO en el salar de Atacama, junto a otras de las empresas públicas CODELCO y ENAMI en otros salares. Es justamente sobre las propiedades de CORFO que se desarrolla actualmente la minería de litio en Chile.

Es interesante notar que, aunque en Chile los proyectos de litio también están operados por empresas privadas, la modalidad contractual que está vigente en este último país, entre CORFO y las empresas privadas, le ha brindado al Estado cierto margen para cambiar las condiciones de explotación de acuerdo con su visión estratégica. Esto se ha visto claramente en la renegociación que tuvo lugar entre 2016 y 2018 con Albemarle y SQM. Como se verá en la próxima sección, los nuevos contratos introdujeron cláusulas con objetivos productivos y científico-tecnológicos.

En el caso argentino, el sistema de concesiones limita la capacidad del Estado de introducir cambios en las condiciones de explotación, sobre todo aquellos que afecten la estabilidad fiscal de la operación. En la práctica, estos cambios muchas veces se verifican, pero son negociados con las empresas y nunca implican un cambio de paradigma significativo, como en el caso chileno. Claramente, esto no significa que el estado quede despojado de la posibilidad de utilizar instrumentos de política productiva o científico-tecnológica. Sin embargo, el menú de herramientas a disposición es menor respecto a sus países vecinos.

Otra dimensión del marco normativo se refiere a su grado de cobertura. En la legislación boliviana, el Estado se ha reservado el control de toda la cadena de valor (desde el salar a la batería). En el caso de las actividades de procesamiento de los compuestos de litio está habilitado el acceso a empresas privadas nacionales y extranjeras, aunque en condiciones de socio minoritario de la empresa pública estratégica Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB).

En Chile, la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CChEN) tiene facultades para controlar la extracción de litio, así como también la administración de los compuestos que se

producen en base a este elemento, debido a que el litio se mantiene como material de interés nuclear. Ello comprende la producción, el comercio y el acopio de lo producido. En la práctica, esto no ha sido utilizado como una política productiva, sino más bien de control (con niveles de vigilancia distintos, según los períodos).

A partir de los nuevos contratos, como se verá en la siguiente sección, CORFO ha reservado una cuota de la producción local para su posible industrialización local. El actual gobierno planea también la creación de una empresa pública que se involucre en la industria del litio, en principio creando asociaciones con empresas privadas que aporten capital y conocimiento. En la visión del gobierno, ello le permitiría aumentar su control sobre el recurso y fomentar el desarrollo de una cadena de valor local.

En el caso de la Argentina, la legislación cubre solo aspectos vinculados con la actividad minera. Las empresas tienen libre disponibilidad sobre los productos de litio producidos. La única excepción a esta regla corresponde a la empresa pública jujeña JEMSE, que tiene una participación accionaria del 8,5% en los proyectos desarrollados en la provincia y un derecho de prioridad de venta del 5% de la producción a empresas que industrialicen el recurso en la provincia.

3. POLÍTICAS PARA EL DESARROLLO DE CAPACIDADES PRODUCTIVAS Y TECNOLÓGICAS

A continuación, se describirán brevemente los principales instrumentos utilizados por cada uno de los países del triángulo del litio para desarrollar capacidades productivas y tecnológicas vinculadas al recurso. Se observarán, en particular, qué tipo de actividades se promueven y cuáles son los instrumentos utilizados para hacerlo. Como se

37

Cuadro 2. Fases de la estrategia de industrialización

Fase	Descripción	Inversión estatal (en millones de dólares)	Financiamiento	Año de producción estimado	Tecnología
I	Investigación y plantas piloto. Proceso de investigación y desarrollo del proceso tecnológico para la explotación del salar. Construcción de una planta piloto de carbonato de litio y semiindustrial de cloruro de potasio	19	100% Estado boliviano	2012	Boliviana
II	Producción nacional Construcción de plantas industriales para la producción de carbonato de litio (30.000 t/año) y cloruro de potasio (700.000 t/año).	485 ^a		2016	
III	Producción de materiales de cátodo y baterías de ion-litio.	400		2014	Socios para transferencia de tecnología

Fuente: elaboración propia en base a GNRE (2011)

^aDe acuerdo a GNRE (2010), la distribución de la inversión sería: US\$ 255 millones para la planta de cloruro de potasio, US\$ 174 para la planta de carbonato de litio y US\$ 56 millones para obras de infraestructura

verá, Bolivia y Chile han desplegado acciones que implican un mayor involucramiento del Estado, ya sea desde el punto de vista productivo, como en el direccionamiento de los recursos. Estas acciones se articulan, además, con un sentido estratégico definido políticamente. En el caso de la Argentina, las iniciativas responden principalmente a la agenda de ciertos actores, proveniente principalmente del sistema de ciencia y técnica, que se encuentran poco articuladas entre sí y con el resto de los actores que forman parte de la industria.

3.1. Bolivia: un desarrollo autónomo de la cadena de valor de baterías

En 2010, el gobierno boliviano definió las fases programáticas de una estrategia que tiene como propósito el desarrollo de toda la cadena de valor de las baterías de ion de litio. La misma está financiada por el Banco Central de Bolivia. La estrategia incluye objetivos productivos, que comprenden, aguas arriba, la manufactura de carbonato de litio y cloruro de potasio, y aguas abajo, la producción de material catódico y baterías. Asimismo, se crea una infraestructura para desarrollar actividades de investigación y desarrollo que apoyen estos procesos.

El gobierno no logró cumplir los objetivos originales, por distintos motivos que incluyen factores de orden político, administrativo y técnico cuyo análisis excede las posibilidades de este artículo. Se avanzó, sin embargo, con iniciativas que permitieron aumentar la infraestructura necesaria para llevar adelante actividades productivas, científicas y tecnológicas. Por ejemplo, se construyeron plantas piloto para el desarrollo de procesos de producción. También se concluyó la planta de cloruro de potasio, aunque con una capacidad menor de 350.000 toneladas por año. En 2014 se inauguró la planta piloto de baterías de ion litio, que tiene funciones de capacitación, experimentación y producción de las baterías de litio.³

En 2017 se creó la empresa pública estratégica YLB, que asumió la gestión de la estrategia y abrió una nueva fase más abierta a la cooperación internacional. En 2018 se seleccionó a la empresa alemana ACI Systems y se creó una empresa conjunta, que produciría hidróxido de litio a partir de la salmuera residual resultante del proceso de producción de carbonato de litio de YLB. Se acordó también la futura creación de constitución de la segunda empresa que produciría baterías de litio. Sin embargo, en noviembre de 2019, por motivos de orden político generados por el descontento de organizaciones potosinas, el proyecto se canceló.

Poco después, tuvo lugar un golpe de Estado que puso el proyecto en pausa. Desde entonces, se han registrado pocos avances. El gobierno se orientó al desarrollo de métodos de extracción directa que permitirían separar el litio de los iones de otros elementos que se encuentran en las salmueras, como el magnesio y el sodio, evitando

—o acortando— el proceso de evaporación. En 2021, YLB lanzó una convocatoria internacional para que empresas interesadas pudieran realizar pruebas piloto en los salares del país. Hasta el momento, se preseleccionaron seis, que serán consideradas por YLB para poder establecer negociaciones.⁴

3.2. Chile: renta, encadenamientos productivos y fortalecimiento del sistema científico-tecnológico

Desde la década del 90, Chile ha producido compuestos de litio a partir de los contratos que CORFO tenía con dos empresas privadas. Hasta la creación de la Comisión Nacional del Litio (CNL), el Estado había desempeñado principalmente funciones regulatorias, de monitoreo y fiscalización de la industria. La CNL realizó varias recomendaciones que redefinieron algunos objetivos estratégicos y sirvieron de base para la renegociación de los contratos vigentes. Entre ellas:

- maximizar y captar la renta económica con mirada de largo plazo, destinando parte de ella al desarrollo de encadenamientos productivos y científicos; y
- generar políticas para incentivar la investigación, innovación y desarrollo tecnológico aplicable a las etapas de exploración, explotación y elaboración de productos de litio y a sus múltiples usos, incluyendo una estrategia de propiedad industrial, y la creación junto a CORFO y CONICYT de programas de investigación, desarrollo e innovación con criterios de largo plazo para el desarrollo de capacidades nacionales en este campo (Comisión Nacional del Litio, 2015).

En la práctica, la instrumentación de esta estrategia ha estado a cargo de Corfo, en su carácter de organismo de fomento de la producción y la innovación y, a la vez, como titular de las tenencias en el salar de Atacama donde se desarrollan operaciones productivas. Por ello, el principal canal para contribuir al objetivo de construir encadenamientos ha sido la renegociación de los contratos con Albemarle y SQM, concluida en 2016 y 2018, respectivamente.

Los nuevos contratos incluyen dos mecanismos específicos para tal fin. En primer lugar, se estableció que las empresas deben reservar una cuota del 25% de su producción de compuestos de litio para su venta a precio preferencial a empresas que elaboren en territorio chileno “productos con valor agregado, entre otros cátodos de litio o componentes de éstos, componentes de baterías de litio y/o sales de litio”. CORFO ha organizado hasta el momento dos licitaciones internacionales para asignar dichas cuotas. En el primer caso, se seleccionaron tres proyectos que tenían como propósito la producción de material catódico por parte de empresas originarias de China, República de Corea y Chile. Sin embargo, las empresas decidieron

3. Para un análisis más detallado de este proceso, véase Obaya (2019).

4. Las empresas preseleccionadas son Lilac Solutions (Estados Unidos), CATL Brunp & CMOC (China), CITIC Guoanricig (China), Fusion Enertech (China), Xinjiang Tbea Group (China) y Uranium One Group (Rusia). Fuente: <https://www.ylb.gob.bo/resources/img/notaedi2022.pdf>.

renunciar a su cuota. Entre los motivos del fracaso fueron señalados la imposibilidad de Albemarle de suplir el volumen de hidróxido de litio comprometido; el rechazo de la CChEN al pedido de aumento de cuota de extracción de litio por parte de la empresa; y los desacuerdos respecto a la determinación del precio preferencial.⁵

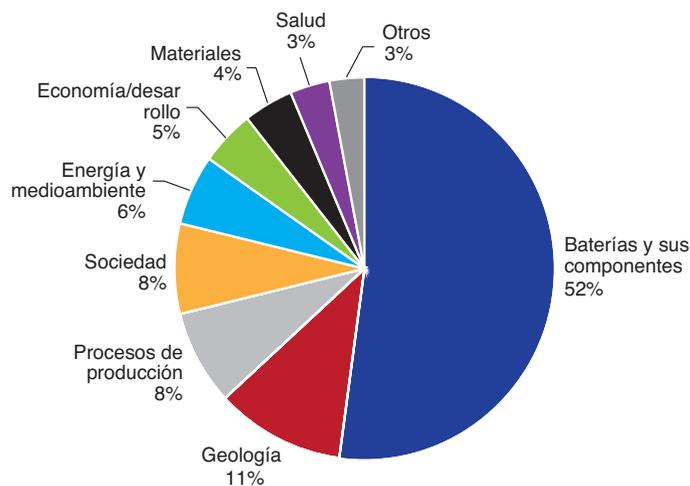
En enero de 2020, se abrió la licitación de la cuota correspondiente al contrato de SQM. Fue seleccionada la empresa chilena Nanotec con un proyecto en fase de desarrollo, destinado a la fabricación de nanopartículas de litio y aditivos de nanopartículas de litio, utilizados como insumo para la fabricación de baterías de litio. En agosto de 2022, se lanzó una tercera licitación que tendrá un volumen disponible mensual de 1875 toneladas de carbonato de litio y 350 toneladas de hidróxido de litio.⁶

En segundo lugar, se establecieron aportes que las empresas deben realizar anualmente para la financiación de centros de investigación y desarrollo. En el caso de Albemarle la cifra asciende progresivamente de US\$ 6 a 12,4 millones anuales, mientras que en el de SQM va de US\$ 10,7 a 18,9 millones. Los centros serían creados a través de licitaciones internacionales organizadas por CORFO, sin participación del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.⁷

El primer proyecto de centro fue asignado a un consorcio de 11 instituciones, la Corporación Centro Tecnológico de Economía Circular para la Macrozona Norte, liderado por el Centro de Innovación para la Economía Circular de Iquique. El proyecto cuenta con un financiamiento de US\$ 21,5 millones por un período de 10 años, y cuenta con aportes adicionales del sector privado, universidades y centros de estudio. Los proyectos incluyen temas vinculados con la energía solar, las sales de litio, las baterías de litio y el almacenamiento de energía y la minería metálica. Las tareas del instituto se orientan a facilitar la innovación y el escalamiento comercial de empresas y emprendimientos orientados a la economía circular.

El segundo proyecto licitado corresponde al Centro para la Electromovilidad, liderado por la Universidad de Chile, que recibirá financiamiento de hasta US\$ 7 millones por parte de CORFO y cuenta con el apoyo de los ministerios de energía y de transportes y telecomunicaciones. El proyecto se denomina Centro de Aceleración Sostenible de Electromovilidad y tiene como principal objetivo la creación y el escalamiento de proveedores tecnológicos y usuarios de servicios vinculados a la electromovilidad. También tiene como objetivos aumentar los sistemas de distribución de carga eléctrica; la autogeneración de energía eléctrica más sustentable; el desarrollo de capacidades técnicas

Gráfico 2. Temas de investigación de investigadores y becarios de CONICET especializados en litio



Fuente: Freytes *et al.* (2022)

5. Más información en: <https://www.mch.cl/2019/07/18/como-chile-desperdicio-un-plan-para-fomentar-una-industria-de-valor-agregado-en-litio/#>.

6. Licitación disponible en: https://www.corfo.cl/sites/cpp/landing_litio.

7. El tercer proyecto corresponde al Instituto de Tecnologías Limpias, financiado con el contrato con SQM. La licitación fue asignada por CORFO en 2021. Sin embargo, a la fecha, el proceso de adjudicación se encuentra judicializado y a la espera de la resolución. En julio de 2022, la Corte Suprema de Justicia anuló su adjudicación al consorcio Associated

Universities, integrado por universidades extranjeras, y dispuso que Corfo adopte una decisión sobre el otorgamiento de la licitación. Un grupo de rectores de universidades locales, que habían conformado un consorcio que competía contra la propuesta seleccionada, como la Universidad de Chile, la Pontificia Universidad Católica, la Universidad de Concepción, la Universidad Católica del Norte y la Universidad de Antofagasta, habían denunciado ante la justicia irregularidades en el proceso de otorgamiento. Véase: <https://www.df.cl/df-lab/innovacion-y-startups/corte-suprema-anula-adjudicacion-de-instituto-de-tecnologias-limpias-de>.

y profesionales y contribuir al incremento de la demanda nacional de desarrollos tecnológicos que utilizan cobre y litio.⁸

3.3. Argentina: los desafíos de la coordinación federal

En el caso argentino, se deben diferenciar los instrumentos utilizados por los gobiernos provinciales de aquellos utilizados por el gobierno nacional.⁹ En el caso de las provincias, el principal instrumento ha sido el de los regímenes de “compre provincial”, formalizados en las provincias de Salta y Catamarca, y que operan de manera más informal en la provincia de Jujuy. Mediante este instrumento se establecen niveles mínimos de participación provincial, que se ubican entre 70% y 80%, para la compra bienes y servicios y la contratación de personal en la minería de litio. Se trata de un instrumento de carácter regulatorio, cuyo principalmente mecanismo de *enforcement* es la aprobación de los informes de impacto ambiental que cada concesionario debe presentar cada dos años. De acuerdo con Freytes et al. (2022), las empresas tienen dificultades para alcanzar los umbrales mínimos establecidos. En el caso de las actividades más complejas, los proveedores tienden a localizarse en provincias con mayor entramado industrial como Córdoba, Santa Fe, Buenos Aires, Mendoza o Tucumán.

En el caso del gobierno nacional se identifican tres instrumentos principales, que han sido analizados por Freytes *et al.* (2022): financiamiento de investigadores y becarios doctorales y posdoctorales del CONICET, financiamiento a través de la Agencia I+D+i, y más recientemente la creación de una planta de pequeña escala para la producción de celdas de baterías de ion de litio liderada por Y-TEC.

En el caso del CONICET, los autores realizan un análisis de los temas de investigación vinculados al litio de los investigadores y becarios y encuentran que el 61% de las personas publican sobre temas que se relacionan a los usos del recurso (**Gráfico 2**). Se destaca especialmente la cuestión de las baterías y sus componentes que explica el 52% del total. La contracara de este fenómeno es que mucho menos importantes son en la agenda de investigación son los temas vinculados con las actividades “aguas arriba”, en las que el país está especializado: geología (11%), procesos de producción (8%) y los aspectos sociales relacionados con las actividades extractivas (8%).

Con relación al financiamiento otorgado por la Agencia I+D+i a proyectos de investigación, desarrollo e innovación vinculados al litio, se ha identificado un volumen de recursos que, entre 2012 y 2021, ascendió a US\$ 5,7 millones, distribuido entre 48 proyectos. Estos proyectos se distribuyen entre tres fondos. También en este caso, los

temas vinculados a las baterías y sus componentes tiene preponderancia, ya que explican el 49% de los recursos asignados. Cabe aquí hacer un contraste con los proyectos financiados con aportes del sector privado, creados recientemente en Chile, que solo en un año cuentan con financiamiento más elevado que lo que registra todo el sistema argentino en el curso de diez años.

El fondo que distribuyó más recursos fue el FONTAR (US\$ 2,4 millones), que se orienta a mejorar la competitividad de las empresas mediante proyectos de investigación, de desarrollo o modernización tecnológica. Se repite en este caso un patrón de financiamiento similar al visto anteriormente, ya que los proyectos seleccionados se vinculan principalmente con la producción de baterías (58%), la producción de materiales que utilicen litio como insumo (30%) y finalmente a la producción de compuestos de litio (12%).

El segundo instrumento corresponde a los PICT. Se trata de proyectos pequeños con fines mayormente académicos, cuyos beneficiarios pertenecen principalmente al sistema de ciencia y técnica. En este caso, el aporte total fue de US\$ 2 millones, que corresponde a un promedio de US\$ 58.600 para un total de 35 proyectos.

Finalmente, en el caso del tercer fondo, correspondiente al FONARSEC, dirigido a consorcios asociativos público-privado, se identificó un único proyecto de más de un millón de dólares. Se trata del proyecto “Litio Argentino: desde su génesis geológica y extracción hasta baterías de última generación dentro de una estrategia sustentable”, que dio lugar a la creación de un instituto de investigación de triple dependencia, con participación del CONICET, la provincia de Jujuy y la Universidad Nacional de Jujuy.

Este centro, denominado CIDMEJU (Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales. Avanzados y Almacenamiento. de Energía de Jujuy), fue creado en 2017. Actualmente tiene 18 miembros cuyo trabajo se organiza en torno a dos áreas temáticas: desarrollo de nuevas tecnologías eficientes y sustentables para la extracción y el procesamiento del recurso litio; y el desarrollo de aplicaciones que den lugar al agregado de valor del recurso minero primario. También se trabaja en temas específicos, como la búsqueda de tecnologías para recuperar litio y otros metales a partir del reciclado de baterías agotadas y paneles fotovoltaicos.

El CONICET, a través de la empresa tecnológica Y-TEC (en la que tiene participación YPF) y el Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA) -un centro del CONICET y la Universidad de La Plata-, lanzó en 2021 el proyecto Proyecto UniLIB. El mismo se propone construir una planta para la fabricación de celdas y baterías de litio para desagregar el paquete tecnológico respecto del diseño y la fabricación de celdas y baterías de ion de litio, y formar recursos humanos calificados en la temática. La capacidad de producción de la planta sería pequeña, de alrededor de 13 MWh por año, y el principal cliente sería, en un principio, el Ministerio de Defensa.

8. Más información en: https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/17_12_2020_corfo_adjudica_primer_centro_electromovilidad.

9. Para un análisis más detallado de los proyectos para desarrollo de capacidades productivas y tecnológicas en la Argentina, véase Obaya *et al.* (2021).

REFLEXIONES FINALES

Se ha ensayado en este artículo una breve caracterización de los principales instrumentos utilizados por cada uno de los países del triángulo del litio para desarrollar capacidad productivas y tecnológicas vinculadas al recurso. Es evidente que al interior de la región prevalece una gran heterogeneidad. En un extremo, Bolivia ha adoptado una política fuertemente controlada por el Estado central, que se apoya en un régimen jurídico específicamente diseñado con el propósito de brindar al estado de las herramientas para abordar toda la cadena de valor de baterías.

En el otro extremo se ubica la Argentina, que cuenta con un régimen jurídico liberal y federal. Este sistema impone altos costos de coordinación y una estructura fuertemente asimétrica: las provincias son las “dueñas” del litio y tienen competencias para su gestión, pero es el Estado nacional el que cuenta con los instrumentos y los recursos para hacer política productiva y científico-tecnológica. Las dificultades de articulación entre niveles de gobierno, así como al interior de cada uno de ellos, se profundizan ante la falta de una visión estratégica consensuada, lo que se vuelve especialmente evidente en el terreno de las políticas aquí estudiadas. Prevalen en este terreno desajustes de todo tipo: competencia entre las provincias por la generación de empleo; una gran desarticulación entre las políticas nacionales y las necesidades provinciales; un descalce entre los intereses del sector científico tecnológico y las oportunidades estratégicas y necesidades vinculadas a la industria del litio.

Chile ha adoptado un enfoque híbrido, que combina la existencia de un sector privado al que históricamente se le ha delegado la operación en los salares, con un Estado que, en los últimos años, ha resuelto asumir mayor protagonismo para potenciar el desarrollo de capacidades locales asociadas a la industria litífera. Con este fin se crearon nuevos elementos destinados a mejorar la captación de la renta económica del recurso y su uso para el financiamiento de proyectos científico-tecnológicos. Sin embargo, a diferencia del caso argentino, donde prevalece un sistema atomizado, que favorece el financiamiento de un amplio número de proyectos de pequeña escala y sin un objetivo estratégico claro, Chile ha optado por la creación de unos pocos consorcios asociativos, con misiones específicas, y con un financiamiento que es elevado en términos de la región.

No es posible hacer una evaluación de la calidad y efectividad de los instrumentos desplegados en cada país. Se trata de procesos de largo plazo, que requieren tiempos extensos para dar frutos. Me limito sencillamente a plantear algunas ideas básicas sobre ciertos aspectos que deberían tenerse en cuenta al momento de diseñar una estrategia.

- *El salar (y su entorno) es nuestro recurso.* Argentina y Chile han delegado en el sector privado la tarea de desarrollar procesos productivos y capacidades vinculadas a la explotación de recursos presentes en el salar y la conservación de su entorno. La distribución de los recursos para proyectos científico-tecnológicos,

orientado fundamentalmente a las baterías, es un reflejo de ello. Esta posición llama la atención, ya que la generación de innovaciones en este terreno es clave para aumentar la renta económica del recurso (de la cual el Estado participa) y, quizás más importante, para asegurarse que el aprovechamiento de los salares se realice en condiciones sostenibles.

Desde el punto de vista de política económica, la generación de capacidades en torno a lo que, en términos amplios, se podría denominar como “actividad minera” es justamente lo contrario a una estrategia “extractivista”, cuyo principal objetivo es la exportación de materias primas sin esfuerzos de creación de valor a nivel local. La creación y difusión de conocimiento en torno a los recursos naturales ha sido una de claves para el buen desempeño de aquellos países que han logrado generar procesos de desarrollo virtuoso a partir de la explotación estos recursos, como son los casos de Australia, Canadá, Noruega o aun los Estados Unidos (Ramos, 1998; Blomström y Kokko, 2007; Smith, 2007; Wright, 2015; Andersen *et al.*, 2018).

Es importante también destacar que los salares no solo concentran el recurso estratégico, que es el litio, sino también aglutinan un conjunto de actividades que afectan sensiblemente el entorno socioambiental que los rodea (Bustos-Gallardo y otros, 2021; Jerez Henríquez *et al.*, 2021). Sería entonces deseable que los gobiernos pudieran definir criterios para priorizar las necesidades y objetivos estratégicos vinculados al salar y su entorno. Por ejemplo: procesos de producción menos intensivos en agua, métodos de control y monitoreo de las cuencas endorreicas y de la biodiversidad de las zonas aledañas, desarrollo de modalidades de participación ciudadana.

- *“Una cosa lleva a la otra”.* En su artículo sobre eslabonamientos productivos vinculados a recursos naturales, Hirschman (1981) utilizaba esta expresión para referirse al hecho de que la creación de estos eslabonamientos –hacia adelante, hacia atrás u horizontales– respondía a un proceso incremental, motivado por la creación de capacidades y oportunidades generadas a partir de la estructura productiva que lleva adelante la explotación del recurso. En general, las capacidades y actividades directamente vinculadas a la explotación del recurso han sido menos atendidas con relación a la batería. Por ejemplo, se encuentra, entre estas actividades, el desarrollo de procesos que permitan producir hidróxido de litio con métodos más eficientes que los utilizados actualmente por los países que tienen depósitos en salares, o la producción de litio metálico.

- *El desarrollo de baterías debe considerarse desde una perspectiva integral.* Todos los países de la región han implementado acciones con el objetivo de avanzar en actividades aguas abajo en la cadena de valor. El supuesto (a veces solo implícito) detrás de ello es que el litio no debería ser exportado sin procesar y que, si los países tienen reservas de litio, ello debe constituir una ventaja para avanzar en la producción de baterías.

Más allá de la evaluación de estas posiciones normativas, las acciones programáticas adoptadas no parecen basarse en un análisis integral de las redes globales de producción en las que se inserta el recurso. La estructura y el funcionamiento de estas plantean elevadas barreras para ingresar y avanzar en la dirección deseada (Obaya y Céspedes, 2021; Bridge y Faigen, 2022).

Por lo tanto, no debe pensarse la industria de baterías como una actividad escindida de sus fuentes de demanda. Como muestran las experiencias de China y, más recientemente, de Europa y América del Norte, las industrias automotriz y de baterías operan como un tándem que exige la co-localización geográfica para ser competitiva (Coffin y Horowitz, 2018; Bridge y Faigen, 2022). Por lo tanto, resulta necesario pensar el desarrollo tecnológico e industrial en conjunto con la creación de mercados. Por su parte, en lo respecta a las actividades aguas arriba, no debe olvidarse que el litio es solo uno de los materiales críticos para la producción de baterías y, por lo tanto, el desarrollo de una industria local supondrá pasar a formar parte de una disputa geopolítica de la que participan las principales potencias del mundo (Kalantzakos, 2020; Riofrancos, 2022).

Finalmente, como se ha mencionado, el desarrollo de baterías supone involucrarse en una carrera tecnológica que no solo está dominada por unos pocos países, sino que requiere un volumen de recursos financieros que está lejos del alcance de la región. Solo como referencia: en 2021, la Comisión Europea autorizó la iniciativa proyecto "Innovación europea de baterías", en la que 12 países de la región ofrecen apoyo estatal por un total de € 2.900 millones para el desarrollo de innovaciones en la cadena de valor.¹⁰

BIBLIOGRAFÍA

Andersen, A. D., Marín, A. y Simensen, E. O. (2018). Innovation in natural resource-based industries: a pathway to development? Introduction to special issue. *Innovation and Development*, 8(1), 1-27.

Azevedo, M., Campagnol, N., Hagenbruch, T., Hoffman, K., Lala, A. y Ramsbottom, O. (2018). *Lithium and Cobalt. A tale of two commodities*. Nueva York: McKinsey & Co.

Baran, E. (2017). *Litio: un recurso natural estratégico desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas*. Buenos Aires: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Barandiarán, J. (2019). Lithium and development imaginaries in Chile, Argentina and Bolivia. *World Development*, 113, 381-391.

Baum, Z. J., Bird, R. E., Yu, X. y Ma, J. (2022). Lithium-Ion Battery Recycling? Overview of Techniques and Trends. *ACS Energy Letters*, 7(2), 712-719.

Blomström, M. y Kokko, A. (2007). From natural resources to high-tech production: the evolution of industrial competitiveness in Sweden and Finland. *Natural resources: neither curse nor destiny*(213-256).

Bridge, G. y Faigen, E. (2022). Towards the lithium-ion battery production network: Thinking beyond mineral supply chains. *Energy Research & Social Science*, 89, 102659.

Bustos-Gallardo, B., Bridge, G. y Prieto, M. (2021). Harvesting Lithium: water, brine and the industrial dynamics of production in the Salar de Atacama. *Geoforum*, 119, 177-189.

Coffin, D. y Horowitz, J. (2018). The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries. *Journal of International Commerce and Economics*, 1-21.

Comisión Nacional del Litio (2015). *Litio: una fuente de energía, una oportunidad para Chile*. Informe final. Santiago de Chile: Ministerio de Minería.

Christmann, P., Gloaguen, E., Labbé, J.-F., Melleton, J. y Piantone, P. (2015). Global lithium resources and sustainability issues. En A. Chagnes y J. Swiatowska (Eds.), *Lithium Process Chemistry. Resources, Extraction, Batteries, and Recycling* (1-40). Amsterdam, Oxford y Waltham: Elsevier.

Flexer, V., Baspineiro, C. F. y Galli, C. I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of The Total Environment*, 639, 1188-1204.

Freytes, C., Obaya, M. y Delbuono, V. (2022). El desarrollo de capacidades productivas y tecnológicas en torno al litio: los desafíos del federalismo. Buenos Aires: Fundar.

GNRE (2010). *Memoria Institucional 2010*. G. N. d. R. Evaporíticos. La Paz: COMIBOL.

Harper, G., Sommerville, R. Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P. Stolkin, R., Walton, A., Christensen, P. Heidrich, O., Lambert, S., Abbott, A., Ryder, K., Gaines, L. y Anderson, P. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 575(7781), 75-86.

Hirschman, A. O. (1981). *A generalized linkage approach to development, with special reference to staples*. Essays in Trespassing. Cambridge: Cambridge University Press.

Hofer, J. (2020). *The future of Energy Storage: Cobalt and Lithium Markets Strategic View*. Londres: Benchmark Mineral Intelligence Contact.

IEA (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. París: International Energy Association.

Jerez Henríquez, B., Uribe Sierra, S. y Morales Balcázar, R. (2021). *Salares Andinos. Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales*. San Pedro de Atacama: Fundación Tanti.

Jiménez, D. y Sáez, M. (2022). *Agregación de valor en la producción de compuestos de litio en la región del triángulo del litio*. Santiago: CEPAL.

Jones, B., Acuña, F. y Rodríguez, V. (2021). Cambios en la demanda de minerales. Análisis de los mercados del cobre y el litio, y sus implicaciones para los países de la región andina. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Kalantzakos, S. (2020). The Race for Critical Minerals in an Era of Geopolitical Realignments. *The International Spectator*, 55(3), 1-16.

Moreno-Brieva, F. y Marín, R. (2019). Technology generation and international collaboration in the Global Value Chain of Lithium Batteries. *Resources Conservation and Recycling*, 146, 232-243.

Obaya, M. (2019). Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en el Estado Plurinacional de Bolivia. Documento de proyecto - 2019/49. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Obaya, M. y M. Céspedes (2021). Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio. Implicaciones para los países del triángulo del litio. Santiago, Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/58) CEPAL.

Ramos, J. (1998). Una estrategia de desarrollo a partir de los complejos productivos en torno a los recursos naturales. *Revista de la CEPAL*.

Riofrancos, T. (2022). The Security–Sustainability Nexus: Lithium Onshoring in the Global North. *Global Environmental Politics*, 1-22.

Smith, K. (2007). Innovation and growth in resource-based economies. *Competing from Australia*. CEDA. Melbourne: Committee for Economic Development of Australia.

USGS (2022). Mineral commodity summaries 2021. U.S. Geological Survey.

Wright, G. (2015). The USA as a case study in resource-based development. *Natural resources and economic growth. Learning from history*, 119-139.