ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of
ZBW
Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Baigorria, Tomás Emilio; Kwiatkowski, Joaquín; Villella, Bruno Mantuano

Working Paper

El litio en Argentina: Potencialidades y expectativas

Documentos de Trabajo, No. 31

Provided in Cooperation with:
Center of Studies on Population, Employment and Development (CEPED), University of Buenos Aires

Suggested Citation: Baigorria, Tomás Emilio; Kwiatkowski, Joaquín; Villella, Bruno Mantuano (2024) : El litio en Argentina: Potencialidades y expectativas, Documentos de Trabajo, No. 31, ISBN 978-950-29-2039-9, Universidad de Buenos Aires, Centro de Estudios sobre Población, Empleo y Desarrollo (CEPED), Buenos Aires

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/311634

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

CEPED
Centro de Estudios sobre Población, Empleo y Desarrollo

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas

Documentos de Trabajo 31

Julio 2024

El Litio en Argentina: Potencialidades y Expectativas

Tomás Emilio Baigorria, Joaquín Kwiatkowski y Bruno Mantuano Villella

Esta obra está bajo una licencia de *Creative Commons* Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

El Litio en Argentina: Potencialidades y Expectativas

Lithium in Argentina: Potentialities and Expectations

Tomás Emilio Baigorria: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Centro de Estudios sobre Población, Empleo y Desarrollo, Buenos Aires, Argentina.

Joaquín Kwiatkowski: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Centro de Estudios sobre Población, Empleo y Desarrollo, Buenos Aires, Argentina.

Bruno Mantuano Villella: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Centro de Estudios sobre Población, Empleo y Desarrollo, Buenos Aires, Argentina.

CEPED
Centro de Estudios sobre Población, Empleo y Desarrollo

Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas

Resumen

En los últimos años, el litio se ha convertido, dentro de los debates sobre producción en Argentina, en uno de los temas más mencionados tanto en espacios académicos y políticos, como en diversos medios de comunicación. Los distintos discursos coinciden en posicionarlo como un material fundamental para la producción de nuevas tecnologías, particularmente por su uso difundido en baterías. En este plano, se sostiene que Argentina y el resto de los países del llamado "triángulo del litio", que explican en conjunto la mayor porción de las reservas del mineral conocidas, poseen una ventana de oportunidad única.

No obstante, existe una multiplicidad de debates ulteriores en los cuales varían las potencialidades identificadas y las expectativas depositadas en las actividades vinculadas al mineral. Entre estos debates se destacan el grado de intervención óptima de los estados nacional y provinciales, la posibilidad de industrialización a nivel local del recurso; así como el impacto del sector en la economía nacional y en las economías regionales del norte argentino. En ese marco, el objetivo principal del presente trabajo es realizar un análisis integral de las actividades vinculadas al litio en Argentina, tanto en su faceta de mercancía primaria como en su rol industrial, con el fin de aportar fundamentos económicos en la evaluación de potencialidades. Para ello, se presentan las características básicas del litio como mineral y se describe la situación de los mercados y las cadenas globales. Posteriormente, se estudian las particularidades del mineral en su formato de existencia geológica en Argentina.

Palabras clave: Litio, Baterías, Energía, Desarrollo industrial

Abstract

In recent years, lithium has become one of the most frequently mentioned topics in academic and political debates, as well as in the media. The different discourses coincide in positioning it as a fundamental material to produce new technologies, particularly for its widespread use in batteries. In this context, it is argued that Argentina and the rest of the countries of the so-called "lithium triangle", which together account for most of the known reserves of the mineral, have a unique window of opportunity.

However, there is a multiplicity of subsequent debates in which the potentialities identified, and the expectations placed on the activities related to the mineral vary. Among these debates are the degree of optimal intervention of the national and provincial states, the possibility of local industrialization of the resource, as well as the impact of the sector on the national economy and on the regional economies of northern Argentina. Within this framework, the main objective of this paper is to carry out a comprehensive analysis of the activities related to lithium in Argentina, both as a primary commodity and in its industrial role, in order to provide economic foundations for the evaluation of potentialities. To this end, the basic characteristics of lithium as a mineral are presented and the situation of

markets and global chains is described. Subsequently, the particularities of the mineral in its geological existence in Argentina are studied.

Key words: Lithium, Batteries, Energy, Industrial development.

Clasificación JEL: L72, O54, O57, Q33

CENTRO DE ESTUDIOS SOBRE POBLACIÓN, EMPLEO Y DESARROLLO (CEPED)

Av. Córdoba 2122. Primer piso.

C1120AAQ. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina

Telefax: (54 11) 5285-6636

http://www.econ.uba.ar/www/institutos/economia/ceped/

http://www.economicas.uba.ar/institutos_y_centros/ceped/

Baigorria, Tomás Emilio

El litio en Argentina: potencialidades y expectativas / Tomás Emilio Baigorria ; Joaquín Kwiatkowski ; Bruno Mantuano Villella. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas-CEPED, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-29-2039-9

1. Recursos Minerales. 2. Desarrollo Económico. I. Kwiatkowski, Joaquín II. Mantuano Villella, Bruno III. Título

CDD 338.27

ISBN 978-950-29-2039-9

Hecho el depósito que marca la Ley 11.723

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 2
1. ASPECTOS TÉCNICOS DEL MINERAL Y SU USO EN BATERÍAS 3
1.1. ASPECTOS TÉCNICOS DEL LITIO 3
1.2. USOS DEL MINERAL 3
1.3. FORMATOS DE EXISTENCIA GEOLÓGICA DEL LITIO 5
1.4. MÉTODOS EXTRACTIVOS 7
1.5. EL LITIO EN BATERÍAS 9
2. MERCADO INTERNACIONAL DEL LITIO Y CADENAS GLOBALES DE VALOR 10
2.1. PRECIO DEL MINERAL 10
2.2. CADENAS GLOBALES DE VALOR: DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ETAPAS "UPSTREAM" Y "DOWNSTREAM" 12
2.3. PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE BATERÍAS 12
3. LA INDUSTRIA DEL LITIO EN ARGENTINA 14
3.1. PANORAMA ACTUAL: EXPLOTACIONES Y PROYECTOS EN DESARROLLO 14
3.2. COSTOS DE EXTRACCIÓN 15
3.3. IMPACTO EN LA BALANZA COMERCIAL 17
3.4. GENERACIÓN DE EMPLEO REGIONAL 17
4. CONCLUSIONES 19
5. BIBLIOGRAFÍA 21
6. FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS 23

INTRODUCCIÓN[1]

El complejo minero argentino suele ser identificado como uno de los sectores con mayor potencial exportador (Schteingart y Maito, 2022). No obstante, los datos del sector reflejan que dicho potencial está lejos de ser aprovechado plenamente. Como referencia, el complejo minero chileno registró en 2022 exportaciones por 58.000 m. USD FOB, mientras que su par argentino sólo alcanzó los 3.800 m. USD FOB. La comparación con el país trasandino no es casual, en tanto todo parecería indicar que la dotación de recursos mineros de ambos lados de la cordillera no debería ser sustancialmente distinta. Así lo reflejan, por ejemplo, los depósitos cupríferos de San Juan, cuyas fajas minerales se extienden hacia el lado chileno (Zappetini y Gonzalvez, 2021). Algunos análisis señalan entonces que la diferencia debe radicar en otros factores como los institucionales, el desarrollo técnico y empresarial, etc. Sin ahondar en esta temática, coincidimos en una primera intuición: Argentina posee un complejo minero con un gran potencial exportador que se encuentra lejos de ser aprovechado.

A continuación, centraremos nuestro análisis en el mineral de litio y su industria, no por ser este complejo el que más potencial posee, sino por la repercusión que tuvo en el debate público en los años recientes. La percepción mediática y política del litio como posible "salvador" u "oro blanco"[2], acompañada por una situación macroeconómica crítica, contribuyó a instalar a este mineral en el sentido común como una oportunidad histórica para el desarrollo del país. Con eso en mente, en el presente trabajo analizaremos en detalle las actividades vinculadas al litio en Argentina, tanto en su faceta de mercancía primaria como en su rol industrial, con el fin de aportar fundamentos económicos para la evaluación de sus potencialidades.

Durante el análisis, estudiamos las características geológicas del mineral en su formato de existencia global y en Chile, Bolivia y Argentina en particular; el costo y algunas características de los diferentes métodos de extracción del mineral, los efectos sobre el empleo local del desarrollo de la actividad litífera, los proyectos vigentes en Argentina, entre otras. Asimismo, analizaremos las características del mercado mundial del mineral, la posición actual de Argentina en aquel y sus actores más relevantes, la evolución reciente del precio, la distribución de las cadenas globales de valor y la revolución de la electromovilidad y las baterías de ion-litio en tanto fundamento de la demanda.

Como conclusión, comprobamos que se trata de un sector con un potencial exportador relevante, aunque dista de la magnitud de las expectativas depositadas en él. Argentina juega un papel secundario en el mercado mundial, aunque cuenta con un importante potencial de crecimiento que ya se encuentra en marcha, tal como lo evidencian la multiplicidad de proyectos extractivos que se encuentran en fase preliminar –construcción y exploración—. Respecto del desarrollo del sector "aguas abajo", es decir, hacia las baterías y

[1] Agradecemos los comentarios realizados a versiones anteriores por Matías Agustín Sánchez, Ezequiel Monteforte, Guido Ezequiel Weksler y Lucas Terranova. Asimismo, agradecemos a quienes conforman el Centro de Estudios sobre Población, Empleo y Desarrollo (CEPED) por brindarnos el espacio y las guías que permitieron la publicación de este trabajo; y a Martín Obaya (CENIT-UNSAM) por su ayuda en las primeras etapas del trabajo.

[2] https://www.infobae.com/america/ciencia-america/2019/10/10/que-es-el-litio-el-oro-blanco-que-las-grandes-potencias-vienen-a-buscar-a-la-argentina/

la electromovilidad, concluimos que las oportunidades reales del país se encuentran sobreestimadas por el debate público, en la medida en que tal desarrollo puede verse obstaculizado por características del mercado. Algunos ejemplos vienen dados por la baja incidencia del litio en el costo final de la batería, la elevada integración vertical de la cadena o la inexistencia de un mercado de vehículos eléctricos en la región y, en consecuencia, de fases intermedias y finales de producción.

1. ASPECTOS TÉCNICOS DEL MINERAL Y SU USO EN BATERÍAS

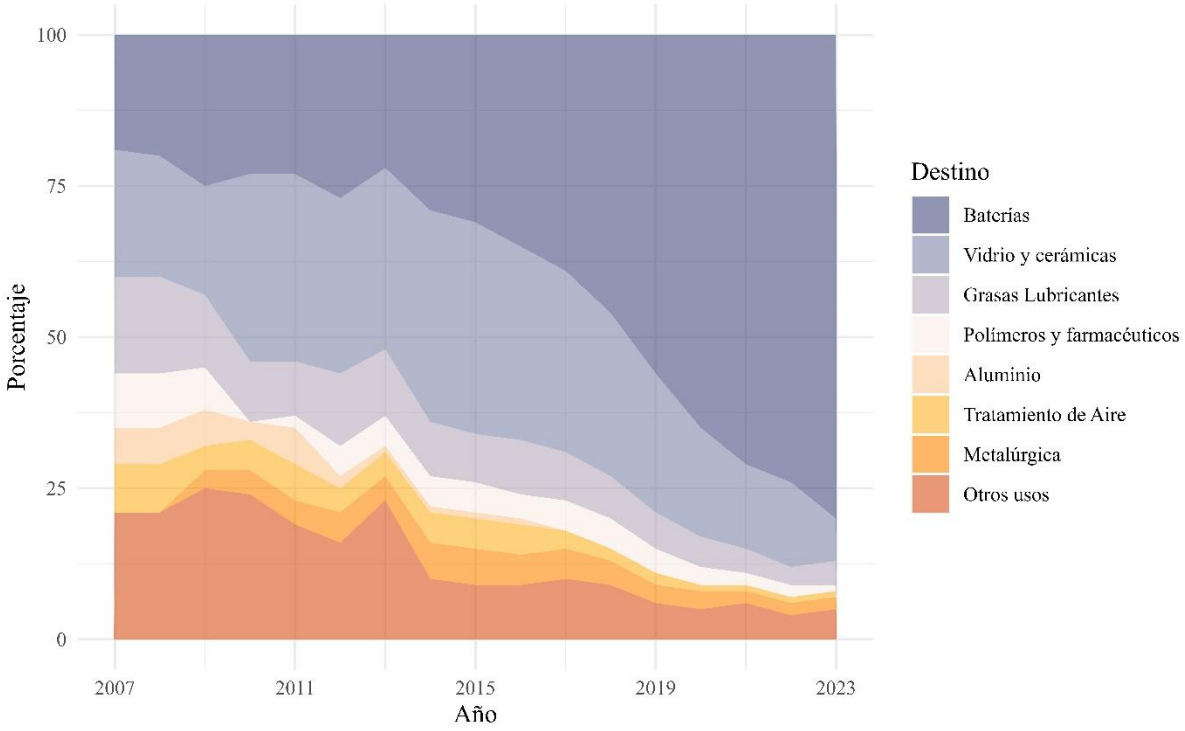
1.1. ASPECTOS TÉCNICOS DEL LITIO

El litio es un metal alcalino, como el sodio y el potasio, con un aspecto blanco y plateado. Particularmente, es el metal más liviano y el sólido menos denso de la tabla periódica, con una densidad de aproximadamente la mitad de la del agua (Haynes, 2014). Posee, entre sus propiedades químicas más salientes, una elevada reactividad al entrar en contacto con el agua y la mayoría de los gases moleculares, así como, fundamentalmente, un elevado potencial electroquímico, aspecto que explica gran parte de su uso industrial actual. Si bien existen una multiplicidad de metales con esta característica, como es el caso del sodio, el litio se destaca por su elevada relación capacidad de carga – peso, lo cual lo vuelve idóneo en aplicaciones de sencilla portabilidad (Goonan, 2012). En adición a lo mencionado, el litio posee una alta conductividad térmica, lo cual explica su rol en industrias como la de grasas lubricantes. Por su parte, el carbonato de litio (uno de los subproductos más utilizados del mineral) permite reducir el punto de fusión de ciertos materiales, facilitando el trabajo con vidrios y cerámicas (Fishwick, 1974).

1.2. USOS DEL MINERAL

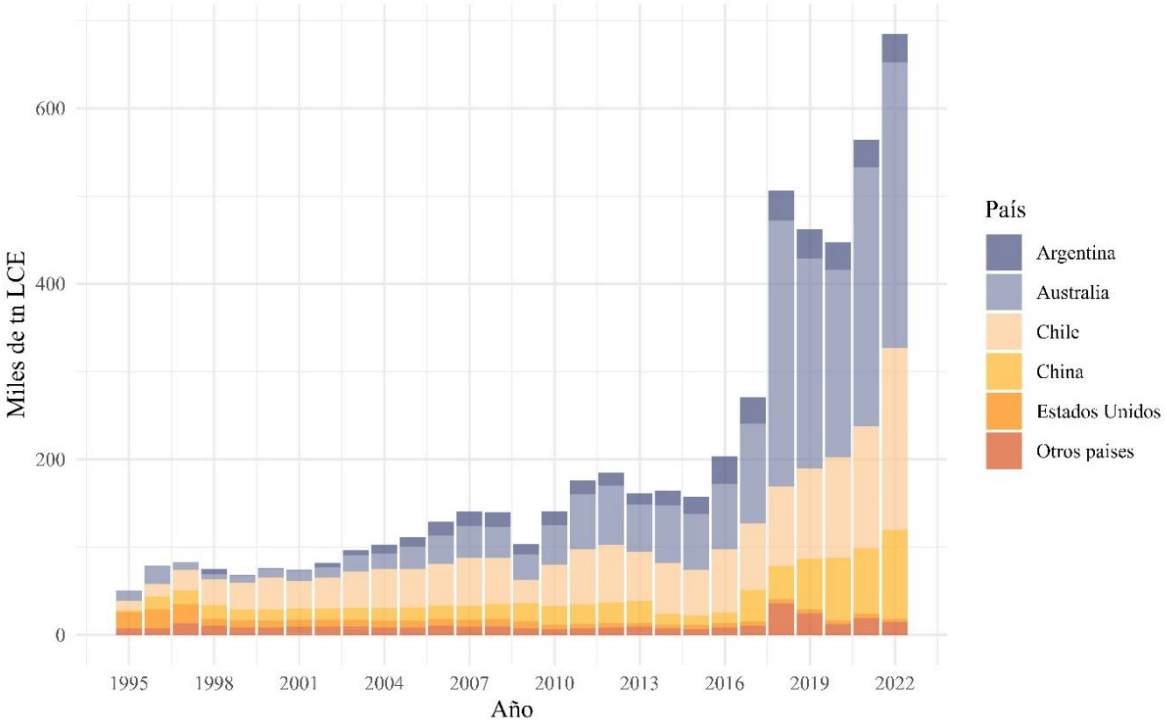
Si bien su descubrimiento fue en 1817, el mineral recién fue aislado por primera vez en 1854 por Robert Bunsen y Augustus Mathiessen. No obstante, fue visto como una rareza hasta la segunda guerra mundial, luego de la cual se comenzó a indagar sobre sus propiedades físicas y químicas (Kunasz, 2006). La primera batería de ion-litio de uso comercial para dispositivos electrónicos fue desarrollada en 1991, por lo que, en términos de la historia del mineral, la difusión masiva de su uso es relativamente reciente. Actualmente, el litio es uno de los protagonistas de una revolución en lo que respecta a la energía renovable y la transición energética. Esto se debe no sólo a la difusión de la electromovilidad, sino también al uso de baterías de ion-litio en sistemas de almacenaje de energía, los cuales pueden actuar como soportes de fuentes limpias de electricidad como la eólica o la solar (Zubi et al, 2018).

Figura 1. Evolución histórica de los principales destinos del litio en porcentaje.



Fuente: elaboración propia en base a USGS.

Figura 2. Evolución de la producción de carbonato de litio en miles de toneladas LCE por país.



Fuente: elaboración propia en base a SIACAM.

Además de su utilización en baterías, el litio juega un rol relevante en la industria de vidrios y cerámicas y en la de grasas lubricantes, siendo el 7% y el 4% de la producción mundial destinada respectivamente a dichos sectores. También se utiliza en la industria farmacéutica, particularmente para tratar males como la bipolaridad, aunque las cantidades del mineral demandadas para ello son prácticamente despreciables (menos del 1%). Otros usos secundarios se dan en la industria del aluminio y en sistemas industriales de acondicionamiento y deshumidificación del aire (Hu, 2012). En la Figura 1 se puede observar, no obstante, la preponderancia de la industria de las baterías en los últimos años como destino principal para la producción global del mineral, pasando de representar un 19% del mercado en 2007 a un 80% en 2023. Este movimiento se vio acompañado de un aumento contundente en las cantidades producidas a nivel mundial, lo que representa un aumento en torno al 388% para el mismo período, tal como se observa en la Figura 2.

En base a lo observado, podemos decir que, si bien el litio presenta y ha presentado históricamente una multiplicidad de usos, hoy su mercado posee magnitudes y características de un orden distinto al histórico. El empuje que llevó al litio de considerarse una rareza a ser catalogado como un mineral crítico por muchos países (Bradley, 2017) se explica unívocamente por la industria de las baterías de ion-litio.

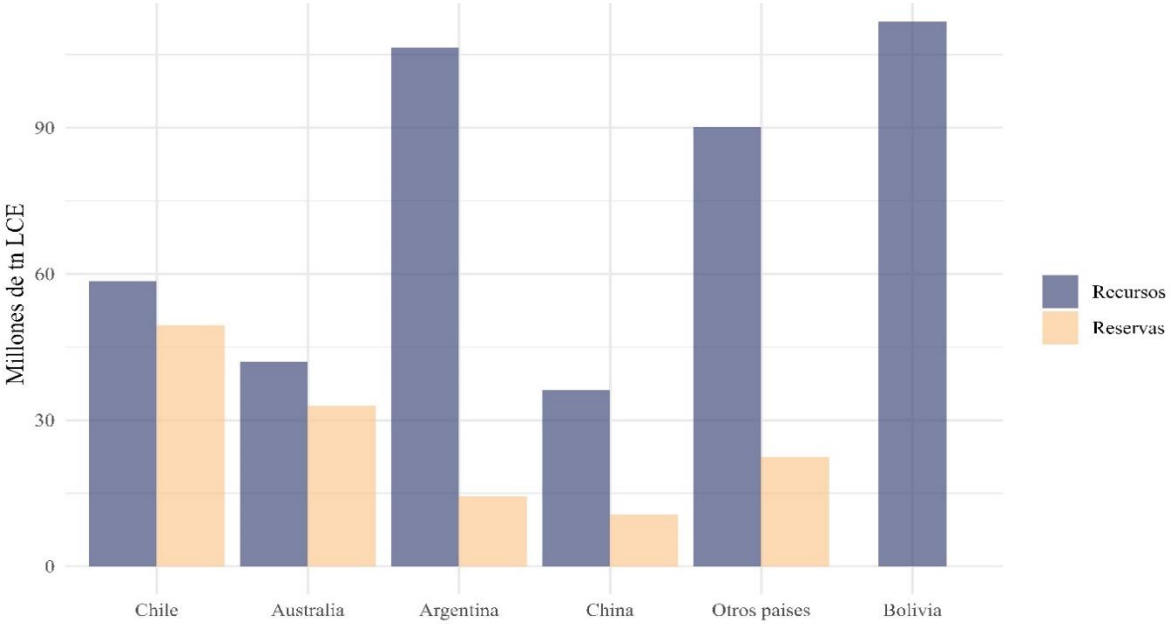
1.3. FORMATOS DE EXISTENCIA GEOLÓGICA DEL LITIO

Contrariamente a la intuición común, el litio es un mineral abundante en la naturaleza, aunque dada su elevada actividad química no aparece libremente, sino que se encuentra en sales y minerales estables en conjunción con otros elementos (Kunasz, 2006). Aparece en más de 145 tipos de concentrados y compuestos de mineral (Talens Peiró, Villalba y Ayres, 2013), entre los que se destacan cuatro grupos: los provenientes de aguas geotermales, arcillas (hectorita, principalmente), salmueras y pegmatitas[3]. Sólo algunos de estos minerales poseen una concentración de litio y una disponibilidad suficiente como para hacer su extracción viable. Ello causa que la abundancia del litio en la corteza terrestre o en el mar no sean necesariamente buenos *proxys* del verdadero grado de abundancia del mineral, como sí lo son los recursos y las reservas –recursos probados y en condición de ser extraídos fácilmente[4]— de cada país.

[3] Las pegmatitas consisten en rocas ígneas con filones de cristal en su interior resultantes de antiguas filtraciones de magma rico en minerales.

[4] Ver CRIRSCO - 2011 Standard Definitions, para más información sobre los estándares de información necesaria para catalogar como reserva un recurso, así como información sobre el significado de cada etapa del proceso de construcción de una operación minera.

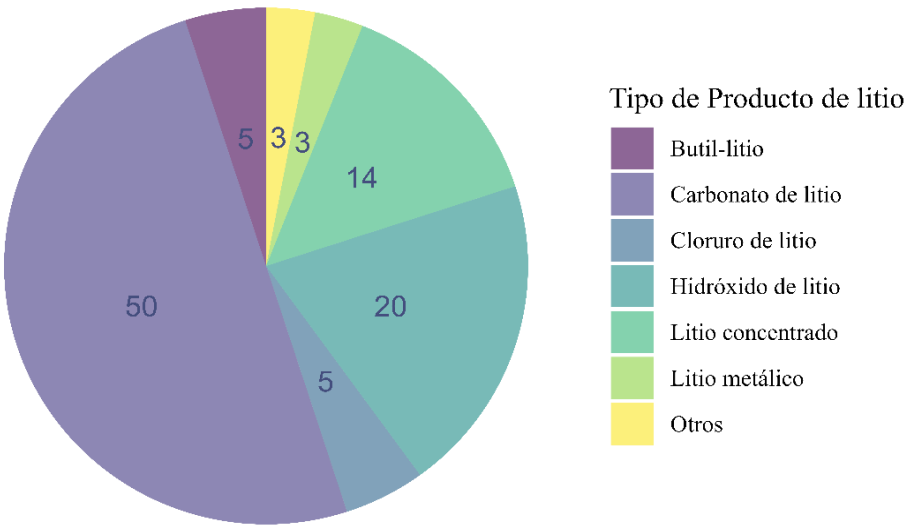
Figura 3. Existencias de recursos y reservas de litio en millones de toneladas LCE por país.



Fuente: elaboración propia en base a SIACAM.

En la Figura 3 se observa su distribución de los recursos y reservas de litio por país para 2023. Argentina, Chile y Bolivia explican el 53% de los recursos globales, pero sólo un 46% de las reservas. La diferencia se explica principalmente por la situación de Bolivia, que aún no posee reservas certificadas ni una producción de escala relevante. En el caso argentino, la importante distancia existente entre recursos y reservas se debe a la existencia de múltiples proyectos en construcción o en etapa de prefactibilidad.

Figura 4. Mercado global de litio por producto en porcentajes (2016).



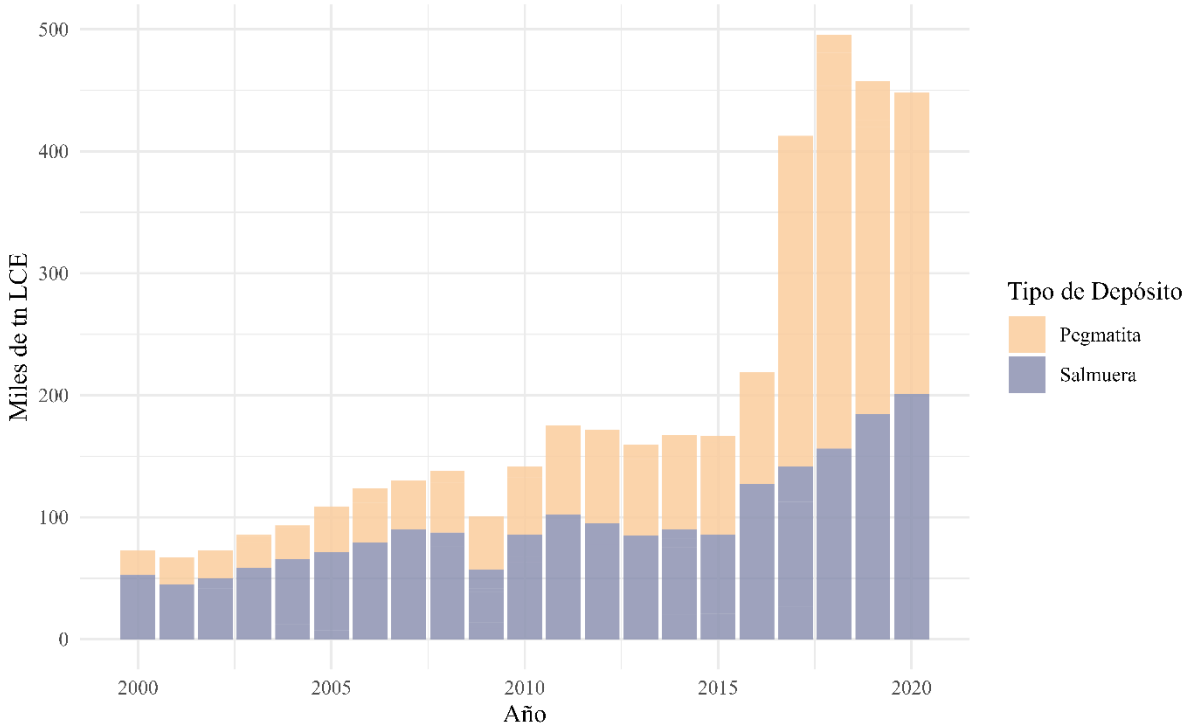
Fuente: elaboración propia en base a Deutsche Bank (2016).

El mineral se puede hallar en el mercado de diversas formas y en diferentes grados de pureza según el uso al que se lo aplique. En la Figura 4 se observa la distribución del mercado por producto de litio para el año 2016. La preponderancia del carbonato de litio y del hidróxido de litio, subproductos principales del mineral, se explica fundamentalmente por su uso en algunos tipos de baterías de ion-litio, como las de níquel, manganeso y cobalto (NMC) y las de litio, hierro y fosfato (LFP), respectivamente. No obstante, se estima que el hidróxido reemplazará paulatinamente al carbonato de litio en el futuro, dada la preferencia de los fabricantes de baterías por la composición NMC que suele utilizar hidróxido con más frecuencia (COCHILCO, 2023).

1.4. MÉTODOS EXTRACTIVOS

En la actualidad, los formatos de extracción de litio dominantes son dos: en base a salmueras y en base a pegmatitas, en particular desde los minerales de espodumeno, lepidolita, petalita y ambligonita, cuya concentración oscila entre las 28 y 30 partes por millón (ppm) (Kunasz, 2006). Esta diferenciación es relevante, ya que el tipo de depósito tiene un impacto directo en los costos operativos (Obaya y Cespedes, 2021). Hasta el descubrimiento de altas concentraciones de litio en los salares chilenos de Atacama, el segundo método era el dominante, con un monopolio productivo de algunas minas de pegmatita situadas en Canadá, Zimbabue y Estados Unidos (Mohr et al, 2010). Los países del denominado triángulo del litio poseen el mineral bajo el primer formato, esto es, en compuestos acuosos –salmueras— con concentraciones de litio entre las 160 y 1400 ppm (Munk, 2011).

Figura 5. Producción de litio en miles de toneladas LCE por tipo de depósito.



Fuente: elaboración propia en base a USGS.

En la Figura 5 se puede observar con claridad una dominancia de la extracción mediante salmueras, en detrimento de las pegmatitas, aunque es preciso destacar el crecimiento reciente de las pegmatitas australianas, alcanzando a igualar en volumen de mercado al litio de salmuera. El rol de Australia como eje productivo para el mercado asiático será analizado con más detalle posteriormente.

Dentro de los salares, el compuesto suele encontrarse encapsulado por una costra salina, por lo que primero debe ser bombeado para luego ser depositado en grandes piletas. Posteriormente, se concentra a través de la evaporación solar –de allí que se lo denomine método evaporítico—[5]. Una vez que la salmuera alcanza una concentración de litio suficiente, se la lleva de las piletas a una planta de tratamiento, donde es intervenida con diversos solventes, siendo el carbonato de sodio (*soda-ash*) el más relevante[6]. El proceso termina con la elaboración de carbonato de litio, cloruro de litio, o hidróxido de litio, según lo requiera el demandante. El resultado natural del proceso es el cloruro o el carbonato de litio. La elaboración de hidróxido requiere un procesamiento adicional. Lo llamativo del proceso en general es su duración, que puede abarcar entre 12 y 24 meses (Flexer, 2018), de acuerdo con factores como las precipitaciones y otros condicionamientos climáticos. El costo-efectividad del uso de la energía solar como precipitante explica la preferencia por este método de extracción a pesar de sus abultados tiempos de maduración.

No todos los salares presentan las mismas características. Como dijimos, el nivel de concentración de litio no es homogéneo y suele variar significativamente entre ellos. Asimismo, otros factores como la relación litio-magnesio, la aridez de la región (Flexer et al, 2018; Talens Peiró, Villalba y Ayres, 2013), o la accesibilidad del yacimiento en que se ubican terminan explicando las disparidades entre los costos operativos de cada salar. Atributos favorables, como puede ser una baja proporción de magnesio, pueden disminuir costos operativos y mejorar el retorno sobre la inversión de los salares (Kesler et al, 2012). El estudio de las condiciones geológicas del salar explica los extensos plazos que toman las empresas en la etapa de exploración y factibilidad del salar, la cual puede tomar hasta 10 años (Flexer et al, 2018).

La extracción mediante pegmatitas, por su parte, tiene más en común con la minería tradicional. El método más difundido actualmente en Australia y en el mundo es el proceso de tratamiento con ácido sulfúrico (Rioyo et al, 2020). Las rocas de espodumeno son extraídas del yacimiento y llevadas a grandes centros de tratamiento –*facilities*— o refinerías, los cuales pueden estar dentro del propio complejo de extracción o lejos de ellos, incluso en otro país. Allí, las rocas son tratadas mediante diferentes procesos, que van desde su calentamiento y mezclado con ácido sulfúrico, hasta cristalización y enfriado[7]. Dada la amplia gama de procesos químicos llevados a cabo, este proceso resulta en general más caro. A su vez, se estima que produce 8 veces más residuos sólidos que su par vía salmueras (Talens Peiró, Villalba y Ayres, 2013). Su persistencia y relevancia en el mercado se explica más por las desventajas de este último en términos de duración y ubicación geográfica que por las virtudes del propio proceso de extracción en base a pegmatitas.

---

5 Una descripción pormenorizada del proceso evaporítico puede hallarse en Flexer et al (2018).

6 Tahil (2007) estima que la producción de una tonelada de carbonato de litio requiere la aplicación de 1,8 toneladas de carbonato de sodio.

7 Rioyo et al (2020) proveen una descripción detallada de los distintos pasos del proceso químico.

1.5. EL LITIO EN BATERÍAS

Las baterías tienen como rasgo principal la generación de energía a partir de reacciones electroquímicas, las cuales nacen a su vez del intercambio entre elementos que toman el rol de reactantes (Gamba, 2019). Tal interacción produce un pasaje de electrones que explica la corriente resultante. Lo distintivo es que estos procesos químicos pueden revertirse mediante la carga eléctrica, confiriendo así a la batería su característica más saliente, la capacidad de ser reutilizada como fuente energética en más de una ocasión. Las baterías constan de dos polos o electrodos, el ánodo y el cátodo, que al entrar en contacto proveen la diferencia de potencial eléctrico que produce el movimiento de los electrones. Asimismo, las celdas (o células), esto es, las unidades más pequeñas dentro de las baterías en que se lleva a cabo este fenómeno poseen separadores entre los dos electrodos, normalmente embebidos en un electrolito que provee los iones para el pasaje de electrones, junto con un recolector de corriente de cobre o aluminio.

Nos detendremos aquí en las baterías de ion-litio, las cuales destacan por su difundido uso en el mercado y una variedad de atributos ventajosos como su ligereza, alta densidad energética, durabilidad y capacidad de brindar descargas potentes (Olivetti et al, 2017). Dentro de ellas, el litio se emplea en el electrolito y fundamentalmente como material constitutivo del cátodo. Existen una multiplicidad de combinaciones químicas y materiales distintos que pueden dar lugar a los componentes de estas baterías, en particular en los electrodos y en el electrolito. Cada una de ellas arroja a su vez diferentes resultados en términos de energía y poder específico[8], entre otras cualidades (Nitta et al, 2015; Zubi et al, 2018). La composición más común en el mercado de automóviles eléctricos con baterías de ion-litio es la ya mencionada NMC (60%). Las otras dos variedades principales, LFP (30%) y NCA (8%), presentan en sus cátodos una composición de hidróxido de litio, hierro y fosfato, en el primer caso, y de óxido de aluminio, cobalto y níquel, en el segundo. Por su parte, el ánodo de todas estas variantes suele estar compuesto en su totalidad por grafito.

El litio representó la mayoría del costo del material del cátodo de estas baterías en 2022. En base a los datos de Wentker et al (2019), y conforme los precios spot de los minerales para dicho año, podemos estimar que su participación asciende al 59,1% en cátodos de baterías NCA, el 58,3% para el de baterías NMC 111[9] y el 61,4% para el de baterías NMC 811. Teniendo en cuenta los costos de manufactura brindados por el aplicativo *BatPac 5.0* (Knehr, 2022), el litio representaría alrededor del 22% del costo final de las baterías mencionadas anteriormente. Si bien el porcentaje es elevado, estas estimaciones deben ser tomadas con precaución por una serie de motivos. Por un lado, corresponden a 2022[10], año en que el precio del litio alcanzó máximos históricos. El porcentaje desciende notablemente si tomamos el precio de años previos. Por otro lado, la utilización del precio *spot*, si bien sirve

[8] La energía y el poder específico aluden a la capacidad energética y a la capacidad de descarga por unidad de peso, respectivamente. Así, una batería con mayor energía específica podrá tener más duración, mientras que una batería de mayor poder específico podrá tener descargas más potentes.

[9] Los números que siguen a las siglas de los minerales (NMC, por caso) indican la proporción relativa de los metales en el material del cátodo. Así, por ejemplo, la sigla NMC 811 indica una composición de 80% de níquel, 10% de manganeso y 10% de cobalto.

[10] Se utilizó este año ya que la última versión de BatPac es de julio de 2022. Este aplicativo, sin embargo, no ofrece el detalle de la composición del costo de los materiales del cátodo por mineral, sino que toma una valoración estándar brindada por las empresas del sector.

para alcanzar una idea sobre la evolución del precio de los minerales, puede causar distorsiones, ya que suele no corresponderse con los precios obtenidos por los productores de baterías, que suelen pautarlo directamente con los productores de la materia prima.

Como veremos en la próxima sección, los minerales que acompañan al litio en el cátodo y el ánodo, en particular los menos abundantes como cobalto, níquel y grafito, también deben ser observados con atención antes de pensar políticas industriales en torno al litio que incluyan la manufactura de células de batería.

2. MERCADO INTERNACIONAL DEL LITIO Y CADENAS GLOBALES DE VALOR

2.1. PRECIO DEL MINERAL

Una primera aproximación al mercado del litio conduce a preguntarnos sobre su precio. Es de común conocimiento el crecimiento observado en aquel desde enero de 2021, lo que actuó como uno de los desencadenantes de la "fiebre" del litio a nivel global. En la Figura 6 se observa la evolución del precio corriente en USD/tonelada en el mercado spot del equivalente de carbonato de litio o LCE junto con los precios de otros minerales claves para la manufactura de baterías. Llama la atención, asimismo, la caída del precio del LCE desde fines de 2022 en adelante. Si bien podemos decir que la dinámica fluctuante en los precios no dista de la observada en diversos bienes primarios a lo largo de la historia, sí es relevante notar la tendencia generalizada a la suba de los precios en todos los minerales asociados a la producción de baterías. Al margen de la posible transitoriedad en esta fluctuación, o del debate suscitado entre diversos actores del mercado respecto de la posibilidad de que los nuevos precios se traten o no de un nuevo piso –lo cual excede los fines de este análisis—, sí resulta relevante resaltar el rol de la demanda para electromovilidad y ion-litio como uno de los fundamentos en la valuación del mineral.

Existen severas dificultades, no obstante, a la hora de analizar el precio del litio, dado que éste constituye lo que se denomina un "precio opaco". Tal como señala Maxwell (2015), a partir de la entrada de la minera chilena SQM en 1992, se gestó un proceso de concentración del mercado que dificultó la obtención de precios de referencia para los consumidores más pequeños. De acuerdo con la taxonomía de *pricing* de bienes primarios propuesta por Radetzki (2013), el mercado del litio transitó desde una situación de oligopolio cooperativo entre las escasas empresas productoras y precios de libre acceso al público, hacia un paradigma de oligopolios no cooperativos y precios negociados de forma reservada entre productores y compradores. Para el año 2000, sólo cinco empresas participaban en el sector, con Chemetall y SQM dividiendo equivalentemente el mercado de carbonato de litio, exceptuando cantidades pequeñas provenientes de China y Rusia (Ober, 2000; McCoy, 1999). Por otra parte, las aplicaciones del mineral se limitaban casi exclusivamente a algunas aplicaciones en las industrias siderúrgica y farmacéutica, por lo que las cantidades producidas eran casi despreciables con relación a las producidas en la actualidad. Hacia 2015, Maxwell (2015) describe al mercado como de competencia oligopolística, pero con información de precios disponible para la prensa especializada. El mismo autor predecía

para el año 2022 una situación de mayor competencia y comercio realizado en mercados de commodities, esto es, con precios transparentes para el comprador.

Figura 6. Evolución del índice del precio del cobalto, litio y níquel (2002 = 100).

Fuente: elaboración propia en base a investing.com y SIACAM.

La última década fue signada por un notable cambio en la composición del mercado, principalmente debido a la entrada de múltiples capitales al sector y la diversificación en sus compradores. A ello se suma el novedoso interés por el litio en ámbitos académicos y mediáticos, todos ellos reclamando más y mejor información sobre el precio del mineral. El paradigma actual en materia de precios dista no obstante de la predicción de Maxwell (2015). La disponibilidad de información podría calificarse como mixta, en tanto resulta posible acceder a algunas series de precios como la que surge del comercio spot del mineral en mercados como el de Shanghái. Las opacidades surgen debido a que la gran mayoría de las operaciones de compraventa de litio se realizan mediante contratos privados de largo plazo entre productores y compradores e incluso transferencias en especie de las filiales a la casa matriz, todos los cuales son luego relevados por sitios de consultoría especializados que limitan el acceso a la información. Tal situación ha conducido a diversas irregularidades en los precios de referencia declarados por las empresas y firmados en los contratos, lo cual ha llegado a suscitar polémicas[11] en torno a las capacidades de fiscalización de las aduanas

[11] La minera Livent subfacturó más de 13 millones de dólares en 2022 (29/05/2023). *Página 12*. https://www.pagina12.com.ar/553496-en-2022-la-minera-de-litio-livent-subfacturo-mas-de-13-millo

nacionales y su vínculo con las empresas del sector. Esta cualidad debe ser tenida en cuenta por los estados a la hora de proponer legislaciones en torno al mineral.

2.2. CADENAS GLOBALES DE VALOR: DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ETAPAS "UPSTREAM" Y "DOWNSTREAM"

El proceso de producción de una batería de litio se puede sintetizar en tres etapas: 1. extracción y procesamiento del mineral, 2. manufactura de los componentes (cátodos y ánodos) y armado de las celdas; y 3. la manufactura de las baterías. Estos diferentes eslabones se encuentran dispersos geográficamente en distintas partes del mundo. La parte primaria de la cadena de suministro, es decir, la correspondiente a la obtención de las materias primas utilizadas para la fabricación de baterías, se encuentra concentrada por tipo de recurso, pero dividida a nivel agregado por tipo de país. La extracción de litio se concentra en Australia, la de níquel en Indonesia, la de cobalto en la República Democrática del Congo y la de grafito en China. En cambio, toda la cadena de suministro desde el procesamiento de la materia prima hasta la fabricación de las baterías y de vehículos eléctricos se encuentra dominada por China (IEA, 2022). Se aprecia también la participación de Japón y Corea del Sur a lo largo de toda la cadena de suministro, aunque en menor proporción.

Las fases intermedias y avanzadas de producción tienden a concentrarse en Asia y, en menor medida, en Europa y en América del Norte. Durante los últimos años se ha consolidado una tendencia a la integración vertical de las empresas, lo que ha permitido reducir los costos significativamente. Este proceso se debe en parte a la especificidad de la configuración de los packs de baterías de los autos eléctricos, lo que genera incentivos a la verticalización de los actores del sector. La preponderancia del uso de diseños propios y la innovación han motorizado aún más este tipo de unificación en las empresas que participan en la cadena. Este fenómeno puede observarse, por ejemplo, en el acercamiento entre China y Australia, a través del cual el primero busca asegurarse la provisión de la materia prima (Hao et al, 2017).

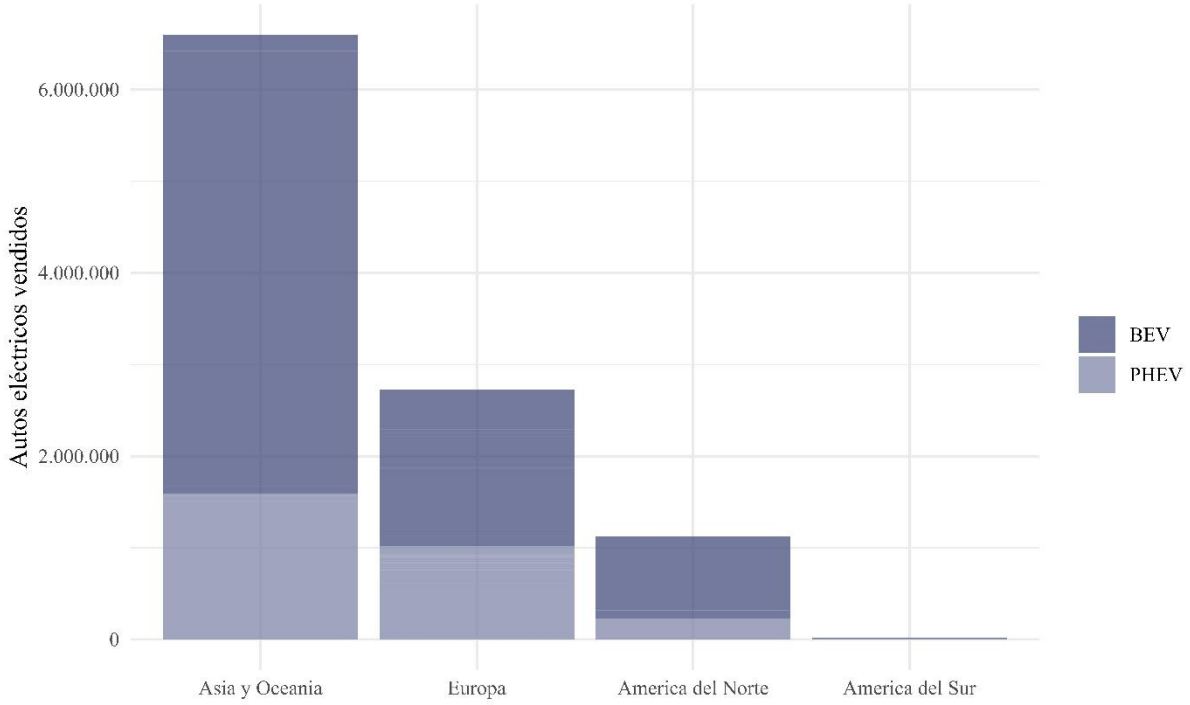
China tiene el predominio absoluto de la etapa más industrializada de la cadena, llegando incluso a casi monopolizar la producción en algunos procesos clave. Además, las empresas chinas buscan garantizarse la provisión directa de los recursos avanzando en los países que poseen las materias primas, en concordancia con el avance de la integración vertical mencionado previamente. Estados Unidos y Europa están avanzando también en la concentración de las cadenas productivas en sus respectivos países, tanto para hacer frente a su aumento de demanda como para enfrentar la competencia china, en un contexto de fuertes tensiones políticas entre oriente y occidente.

2.3. PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE BATERÍAS

La concentración de la producción en países desarrollados no se debe solamente a la capacidad industrial de dichas naciones. El principal motor del crecimiento de la producción de baterías (y del alza en el precio del litio) es la fabricación de vehículos eléctricos, lo que lleva a que las industrias se encuentren cerca de los mercados regionales. Esto se debe a

características propias de este tipo de manufactura. Como se explica en un trabajo de la CEPAL sobre las cadenas globales de suministros, "las baterías de los vehículos eléctricos no son particularmente aptas para ser trasladadas debido a su fragilidad y alto riesgo de combustión bajo estrés (lo que aumenta significativamente los costos de seguro y ha dado lugar a estrictas directrices de embarque)" (Jones, Acuña y Rodríguez, 2021, pp. 30).

Figura 7. Automóviles eléctricos e híbridos vendidos por continente en unidades.



Fuente: elaboración propia en base a IEA (Global EV Outlook).

Como se observa en la Figura 7, los principales demandantes de vehículos completamente eléctricos (BEV) e híbridos enchufables o *plug-in* (PHEV) son los países asiáticos, seguidos por Europa. En América del Sur los patentamientos anuales siguen siendo bajos comparando con vehículos tradicionales, pero en los últimos años se aprecia un constante aumento, sobre todo al incluir en la ecuación los vehículos híbridos. En Argentina durante el año 2022 se patentaron 7.846 vehículos híbridos y eléctricos, un 33% más que en 2021. Sin embargo, solo 261 fueron completamente eléctricos. Brasil y Chile también han tenido un gran crecimiento. A modo de comparación, en el mismo período las ventas de vehículos híbridos y eléctricos en la Unión Europea se acercaron a tres millones de unidades.

3. LA INDUSTRIA DEL LITIO EN ARGENTINA

3.1. PANORAMA ACTUAL: EXPLOTACIONES Y PROYECTOS EN DESARROLLO

A la fecha de escritura, en junio de 2023, Argentina cuenta con 38 proyectos mineros de litio de los cuales sólo 2 están produciendo y 6 se encuentran proceso de construcción[12] (SIACAM, 2023). Del resto, 20 se encuentran en exploración avanzada, 5 en un proceso de evaluación económica preliminar, 3 en estudios de prefactibilidad y 2 de factibilidad. Los proyectos están controlados total o parcialmente por compañías extranjeras. Todos ellos extraen litio por el proceso en base a salmuera lo que implica elevados costos iniciales de capital (*CAPEX*) y plazos largos desde la exploración hasta la producción del mineral, aunque, como ya veremos en detalle más adelante, bajos costos operativos (*OPEX*) durante el ciclo de vida de la explotación.

Pueden identificarse tres departamentos provinciales en los que se concentran la mayor parte de los proyectos litíferos: hay 12 en Antofagasta, Catamarca; 14 en Susques, Jujuy; y 18 en Los Andes, Salta. Este último limita con los otros dos departamentos en sus fronteras sur y norte respectivamente. Asimismo, los tres limitan con la zona de explotación litífera de Chile, conformando la arista sur del triángulo del litio. Estas regiones se caracterizan por ser extremadamente áridas, con grandes amplitudes térmicas y por tener, consecuentemente, baja densidad poblacional.

El proyecto Olaroz es el único de los tres proyectos de la empresa australiana Allkem en Argentina que se encuentra en producción de carbonato de litio (Sal de Vida se encuentra en desarrollo y Cauchari en predesarrollo). Comenzó con el período de exploración de 2008 a 2011 y consiguió su producción inicial hacia 2014, convirtiéndose en el primer proyecto de extracción por salmuera en América latina luego de aproximadamente 20 años (Allkem, 2022). Está ubicado a 3.900 m s. n. m y la distancia a San Salvador de Jujuy, el centro urbano más cercano, es de 230 km.

Esta instalación es controlada por Sales de Jujuy S.A. (SDJ), una empresa conjunta entre Allkem (cuya tenencia es del 66,5%), Toyota Tsusho Corporation (25%) y Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado. Esta última es una sociedad de inversión minera propiedad del gobierno provincial de Jujuy que a su vez tiene control sobre el proyecto Cauchari-Olaroz. La configuración de SDJ resulta interesante para analizar los impactos y posibilidades de integrar a los Estados provinciales en la explotación minera. Por otro lado, la presencia de Toyota dentro del proyecto refrenda cómo la búsqueda de una mayor integración vertical por parte de las automotrices lleva a que las empresas se provisionen directamente de recursos primarios.

Por otra parte, el proyecto Fénix es el segundo en producción dentro del país y el que más tiempo lleva en operación (produce comercialmente LCE desde 1998). La empresa

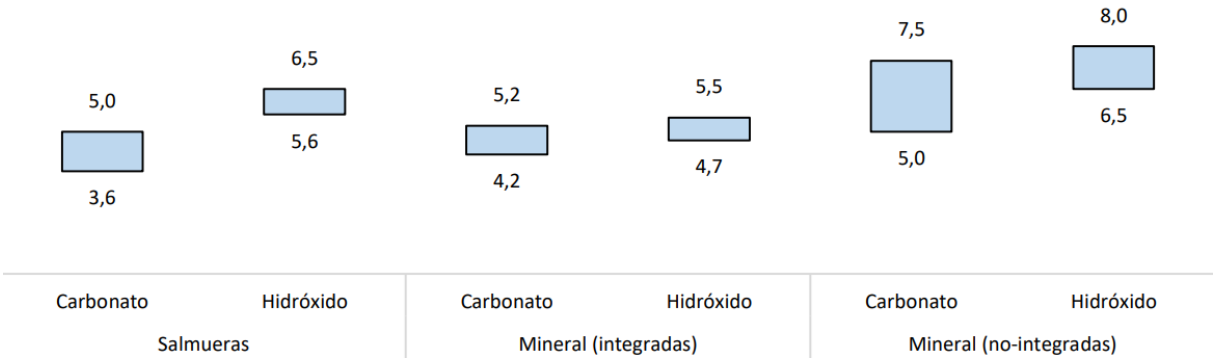
[12] A la fecha de publicación, hubo avances en los distintos proyectos en desarrollo. Actualmente, con la incorporación de Caucharí-Olaroz de Exar (un consorcio conformado por Ganfeng Lithium, Lithium Argentina y Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado), existen tres explotaciones operativas en el país.

estadounidense Livent extrae el carbonato de litio en el Salar del Hombre Muerto, ubicado en la Provincia de Catamarca a 4.000 m s. n. m, cerca del límite con la Provincia de Salta. Este salar de difícil acceso, se encuentra aproximadamente a 400 km de la Ciudad de Salta, que es el centro urbano más próximo. Parte de su producción es tratada posteriormente en la planta en General Güemes, Salta, para producir cloruro de litio. Livent provee con lo producido en Fénix a General Motors, BMW y Tesla[13].

3.2. COSTOS DE EXTRACCIÓN

En términos generales, la literatura coincide en señalar a la extracción en base a salmueras como el método menos costoso de extracción de litio (Obaya y Céspedes, 2021; BID, 2019). Como vemos en la Figura 8, los costos operativos de la producción de carbonato de litio por salmuera son generalmente inferiores a su contraparte por pegmatitas. No obstante, si comparamos el costo operativo de la producción de hidróxido de litio, notamos que existe un encarecimiento en la producción por salmueras que supera la observada en las canteras de pegmatita con refinamiento integrado. Esta se debe a que la síntesis del hidróxido requiere de un proceso adicional sobre la salmuera que es intensiva en insumos químicos como hidróxido de calcio (Parra, 2018). Por último, se puede apreciar el notable encarecimiento del costo operativo de la producción de ambos compuestos en las producciones no integradas de pegmatita. Esto se explica por la incorporación de los costos de flete al trasladar el

Figura 8. Rangos de costos de extracción del carbonato de litio y del hidróxido de litio por tipo de depósito en USD/t LCE.



Fuente: tomado de COCHILCO (2023).

concentrado de espodumeno, principalmente desde Australia hacia China, donde luego es procesado (COCHILCO, 2023).

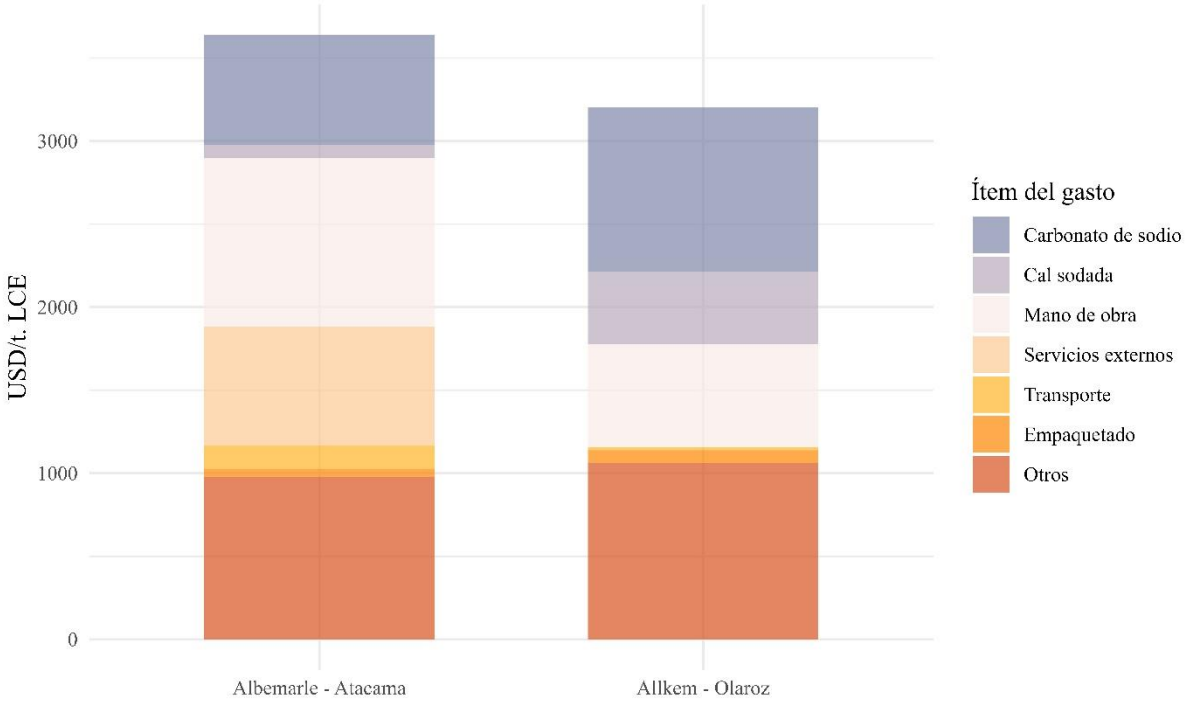
En la Figura 9 comparamos los costos operativos de los salares de Atacama (Albemarle) y el mencionado salar de Olaroz (Allkem), ubicados en Chile y Argentina respectivamente[14]. Los

[13] En enero de 2024, las empresas Livent y Allkem, responsables de la mayor parte de la producción local, anunciaron su fusión en un *joint venture* llamado "Arcadium Lithium", que centraliza la operación argentina de ambas empresas.

[14] Los datos de Albemarle corresponden a un informe técnico elaborado por la consultora SRK y presentado por la empresa frente a la Comisión de Bolsa y Valores de Estados Unidos (SEC, por sus siglas en inglés) en el año

datos se encuentran expresados en USD por tonelada de LCE, y ascienden a 3.640 USD/t para el caso chileno[15] y 3.205 USD/t para el caso argentino. Corresponden a los años 2021 y 2022, respectivamente. Adicionalmente, vemos que la mano de obra es el ítem más representativo del costo en el primer caso alcanzando un 28% del total mientras que los solventes destacan en el segundo con un 45% del total. Al margen de los datos de estos dos salares, que ya se encuentran en operación, de acuerdo con el informe de COCHILCO (2023), los costos operativos promedio de los salares chilenos ascendieron a 3.768 USD/t para el año 2022, mientras que las proyecciones de cuatro salares argentinos en construcción (Tres Quebradas, Sal de Vida, Pastos Grandes y Caucharí-Olaroz) promediaron un costo operativo

Figura 9. Estructura de costos de los proyectos Atacama y Olaroz (2022).



Fuente: elaboración propia en base a reportes empresariales.

esperado de 3.300 USD/t.

Si bien esta última cifra se trata de una proyección, los datos hablan de una ventaja en términos de costos no sólo frente a productores de pegmatita como Australia, sino también frente a competidores en salmueras como Chile, lo cual configura un panorama alentador para la producción argentina, a la vez que explica en parte el crecimiento de la producción y de los proyectos en etapas previas a la producción.

2021. Los de Olaroz, por su parte, pertenecen a un reporte técnico elaborado por la consultora Hydrominex en abril de 2022.

[15] El ítem "servicios externos", muy relevante en el caso del salar de Atacama, corresponde a costos vinculados con la extracción de las sales de litio.

3.3. IMPACTO EN LA BALANZA COMERCIAL

El sector minero en Argentina se encuentra estancado en el mismo nivel de producción desde hace una década, medido a precios constantes. Sin embargo, al analizar con mayor detalle, se observa un importante crecimiento en el aporte del litio sobre el total de los valores exportados. En el año 2022, según los datos del SIACAM, las exportaciones de litio argentinas alcanzaron los USD 695 millones, pasando a representar el 18,04% de todas las ventas al exterior del sector minero contra el 6,4% del 2021. Es importante mencionar que este aumento esta motorizado casi en su totalidad por el aumento del precio de dicho período, mientras que las cantidades exportadas en toneladas se ha mantenido relativamente constante en los últimos años. El destino del 85% de las exportaciones ha sido China, Japón y Corea del Sur que, como se ha mencionado previamente, son los países que concentran la mayor parte de la etapa *downstream* de la fabricación de baterías.

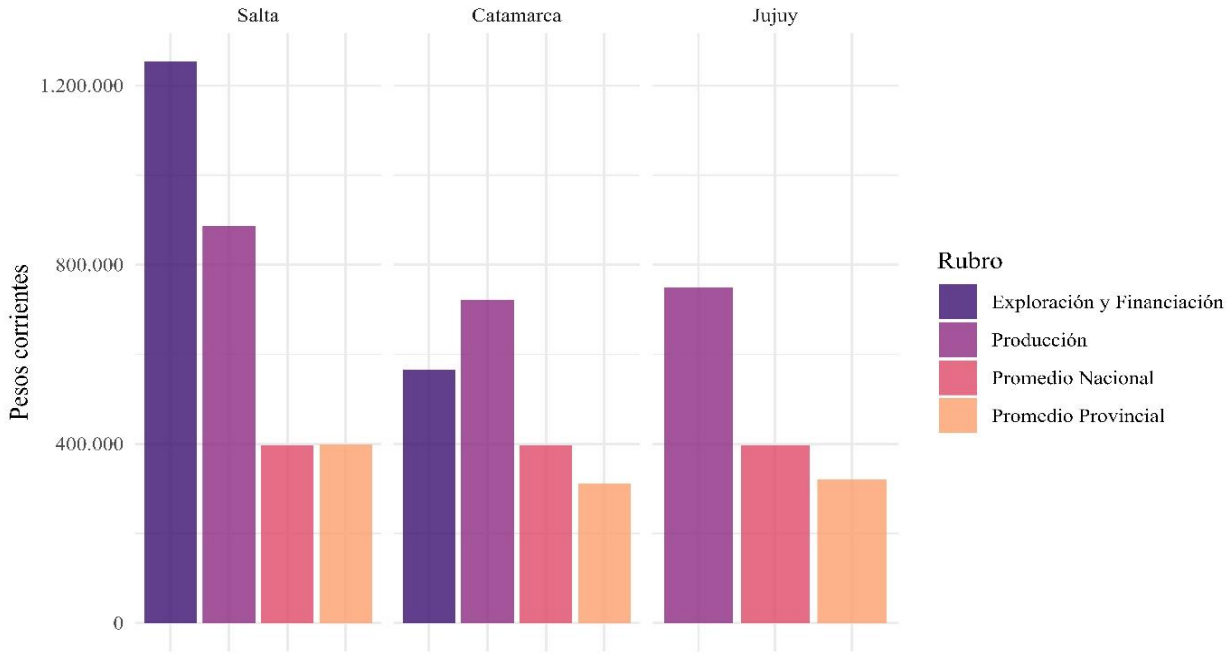
El incremento efectivo de la producción local en base a la entrada en operación de los proyectos en marcha brinda un panorama alentador para las exportaciones de litio. De acuerdo con datos de la Secretaría de Minería relevados por la agencia Télam[16], las exportaciones del sector podrían alcanzar las 200.000 toneladas anuales para 2025, una vez que los 6 proyectos actualmente en construcción comiencen su producción. Suponiendo un precio internacional en torno a los 28.265 USD/t, el valor exportado ascendería a los USD 5.635 millones, 8 veces el valor exportado en 2022.

3.4. GENERACIÓN DE EMPLEO REGIONAL

El desarrollo de una nueva industria viene acompañado de grandes expectativas alrededor de los efectos suscitados en materia de empleo y producción. En cuanto al litio, por circunscribirse mayormente en el noroeste argentino, existe un especial interés sobre su capacidad para mejorar la calidad de vida en esta región del país. Como referencia, el salario bruto promedio de los trabajadores asalariados registrados de las provincias del NOA se ubicó, en agosto de 2023, un 21,22% por debajo de la media nacional para el caso de Catamarca, un 19,16% por debajo para el caso de Jujuy y nivel de salarios similar al promedio para el caso de Salta. Por su parte, en ese mismo período el salario promedio en la industria de litio fue un 203% superior a la media nacional. A nivel provincial, el salario promedio registrado en la industria del litio superó el salario promedio registrado provincial en un 196% para el caso de Catamarca, 202% en Jujuy y un 344% en Salta (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2023). En la Figura 10 se pueden apreciar las mencionadas diferencias salariales, así como la desagregación entre los rubros de Producción y Exploración y Financiación.

[16] Ortiz, I. (23/04/2023). Los proyectos de litio llevarán las exportaciones del mineral a US$5.653 millones en 2025. *Agencia Télam*. https://www.telam.com.ar/notas/202304/626333-mineria-litio.html

Figura 10. Remuneración bruta de los trabajadores de la industria del litio en relación a la remuneración bruta media provincial y nacional (agosto 2023).



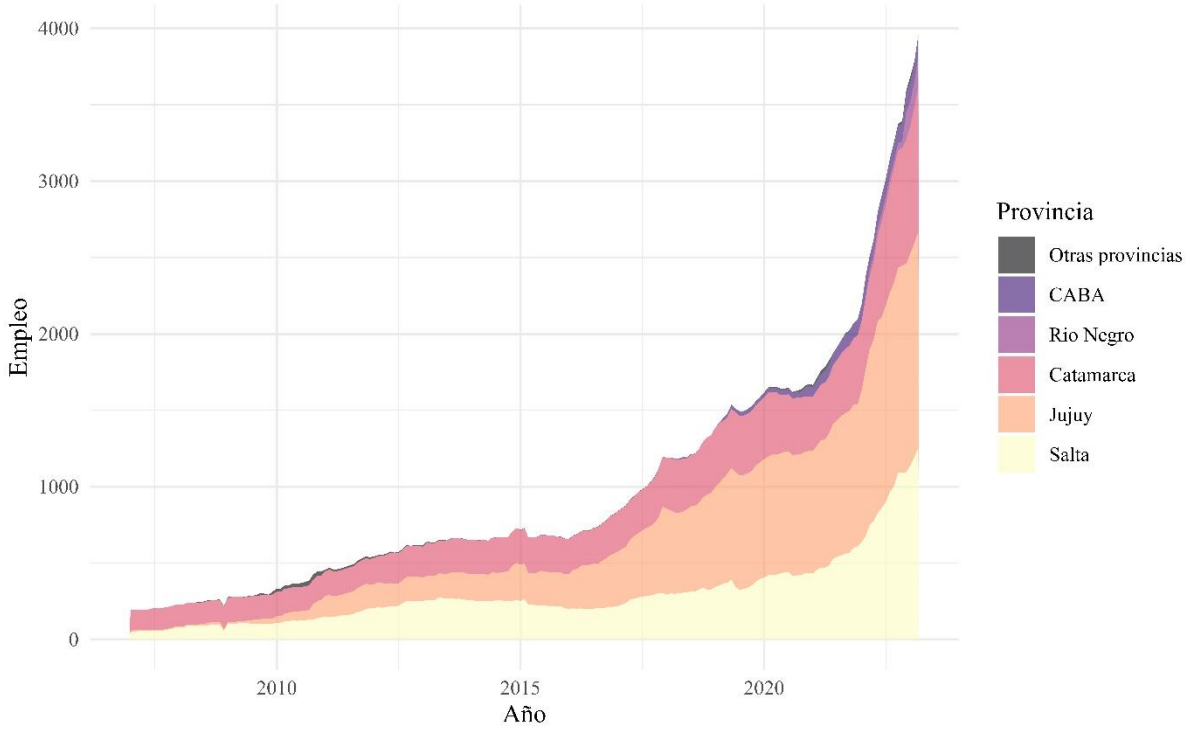
Fuente: elaboración propia en base a SIACAM y Ministerio de Desarrollo Productivo (2023).

Ante una situación prometedora en torno a los salarios cabe preguntarse cuántos son los empleos generados por esta industria[17]. Del último registro del SIACAM, correspondiente a agosto del año 2023, se desprende que hubo 4.533 trabajadores registrados en la industria del litio, de los cuales un 67,28% figura bajo el rubro de Producción mientras que el porcentaje restante corresponde a Exploración y Financiación. Si se analiza esta cifra en relación con el empleo minero registrado a nivel nacional, se puede observar que los empleos generados por la industria de litio representaron el 11,35% del total. Si se considera únicamente el rubro de minerales no metalíferos, los puestos de trabajo generados por la industria del litio representan el 57,97% del total país (SIACAM, 2023).

La evolución del empleo litífero ha acompañado el desarrollo de las explotaciones y el incremento de sus capacidades productivas. Desde el 2015, y debido al aumento de la demanda de litio que favoreció la rápida creación de proyectos de explotación, la necesidad de mano de obra aumentó rápidamente, tal como se observa en la Figura 11. Se espera que, con la puesta en funcionamiento de las instalaciones que están actualmente en construcción, el crecimiento de la cantidad de los puestos de trabajo continúe su tendencia.

[17] El estudio de los empleos indirectos generados por el sector no se encuentra presente dada la baja disponibilidad de datos de las provincias y la extensión que un estudio semejante implicaría. Como referencia, un estudio de la Cámara Argentina de Empresarios Mineros y la consultora ABECEB estimó en 2016 que a cada empleo directo generado por la minería le corresponden dos puestos de trabajo indirectos. No obstante, tal estimación es difícilmente extensible al litio dadas las particularidades de la producción vía salmuera.

Figura 11. Evolución de los puestos de trabajo registrados de la industria del litio por provincia.



Fuente: elaboración propia en base a SIACAM.

4. CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo buscamos estudiar a la industria del litio en base a dos grandes facetas, 1. como mercancía primaria y 2. como materia prima dentro de la industria de baterías de ion-litio, es decir, en su rol aguas abajo en la cadena. De esta forma se buscó echar luz sobre el lugar que ocupa Argentina actualmente en el sector, estudiando a su vez las potencialidades de crecimiento existentes para el país. Al respecto de la primera faceta, observamos que Argentina juega, junto con Chile y Australia, un rol preponderante en la industria de carbonato e hidróxido de litio, aunque muy por debajo de su par trasandino. En este sentido, las características de los salares argentinos y del propio proceso de extracción por salmueras configuran un panorama alentador para el país, que debe aprovechar sus menores costos de extracción para impulsar su producción y aumentar su cuota de mercado. Este proceso ya se encuentra parcialmente en marcha, lo cual se manifiesta en la multiplicidad de proyectos existentes en fase de exploración y construcción.

Adicionalmente, la instancia extractiva del litio debe ser analizada a la luz de sus efectos en las economías de la región y en la balanza comercial del país. En el primer caso, y tal como vimos, los elevados salarios y la cantidad de empleados por la industria generan un impacto positivo en las provincias del noroeste argentino. En el segundo caso, y dado el contexto argentino, el surgimiento de industrias como el litio que aumenten el ingreso de divisas y diversifiquen sus fuentes podría ser sumamente relevante a futuro. La experiencia chilena

brinda un horizonte prometedor: en 2022, el litio se convirtió en el tercer producto en relevancia de la canasta de exportación chilena[18], alcanzando el valor de USD 7.763 millones.

No obstante, la posición del país abre una serie de interrogantes. Para empezar, la investigación y el desarrollo nacional en torno al litio se han encontrado vinculados fundamentalmente a la producción de baterías, en lugar de discutir la cadena del mineral aguas arriba (Obaya y Céspedes, 2021). Esta ausencia de investigación puede deberse en nuestra opinión a una atención desmedida en las instituciones públicas y en los actores involucrados en general sobre la manufactura de baterías, dejando así sin reparo las circunstancias en que el mineral se extrae y se procesa, cosa que ya tiene lugar en el país. Asimismo, autores especializados como Flexer et al (2018) señalan la ausencia de investigación suficiente al respecto del impacto ambiental de la extracción por salmuera. En tal sentido, resalta el avance de la investigación sobre tecnologías de extracción directa, en tanto se trata de tecnologías con una elevada refinación técnica y con un gran potencial para reducir costos y tiempos de extracción.

La innovación podría permitir al país no sólo hacerse de una tecnología de punta en materia de extracción del mineral, sino también generar encadenamientos tecnológicos e innovativos en el proceso. En adición a ello, la investigación y el desarrollo en la cadena aguas arriba podría resultar en el desarrollo de encadenamientos a nivel local y en el mejoramiento de la balanza de pagos del sector. El caso más saliente de ello es el del carbonato de sodio, el cual constituye el solvente principal utilizado por la industria de litio, a la vez que explica la mayoría del costo operativo de los salares argentinos (en torno al 30%). En la actualidad, este solvente es importado a pesar de que se cuenta localmente con el conocimiento técnico y las materias primas para elaborarlo (López, Schalamuk, Azarevich, 2020).

Al respecto de la segunda faceta, las dificultades del traslado de las baterías representan un importante limitante para el desarrollo de otras etapas *downstream* de la cadena productiva. Dada la regionalización de las cadenas de suministro en los grandes polos de demanda de vehículos, junto con la integración vertical de las empresas y las dificultades logísticas de traslado de las baterías, es poco probable que nuevos países puedan avanzar con un grado de industrialización del mineral que agregue valor en etapas intermedias o avanzadas de la cadena (Obaya, López y Pascuini, 2020). Sin embargo, esa misma regionalización deja la puerta abierta para que, ante un aumento considerable de la demanda de vehículos eléctricos en América del Sur, Argentina pueda consolidarse como el productor y proveedor principal para la región. Frente a un escenario semejante, se deberá planificar cuidadosamente una política integral, tanto industrial como tributaria, para que el sector pueda ser competitivo frente a otros potenciales competidores regionales, como puede ser Brasil.

Por último, la electromovilidad no debe ser el único foco de la agenda pública en lo referente al litio. La industria de las baterías de energía estacionaria merece especial atención: si bien no exhibe el crecimiento de la electromovilidad, se trata de un potencial nicho de exportación al que Argentina podría intentar acceder en el futuro, en especial teniendo en cuenta la preponderancia del uso de fuentes renovables de energía en la región.

[18] Olivares C., E. (23/02/2023). Del 1% al 8% del total: el litio se convierte en el producto no cobre más exportado de Chile. *Ex-Ante*. https://www.ex-ante.cl/exportaciones-chile-2022-cobre-litio-ranking/

5. BIBLIOGRAFÍA

Bradley, D., Stillings, L., Jaskula, B., Munk, L., & McCauley, A. (2017). Lithium, chap. KUS Geological Survey Professional Paper 1802, p. K1–K21. *Critical Mineral Resources of the United States – Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply*.

COCHILCO. (2023). El mercado de litio: desarrollo reciente y proyecciones al 2035.

Fishwick, J. H. (1974). *Applications of lithium in ceramics*. Cahners Books.

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

Gamba, M. (2019). Anexo 2: ¿Cómo funciona una batería? En B. Fornillo (Coord.), *Litio en Sudamérica. Geopolítica, energía y territorios* (pp. 304-306). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: El Colectivo; CLACSO; IEALC - Instituto de Estudios de América Latina y el Caribe.

Gutiérrez Parra, G. E. (2018). Alternativas de extracción de litio para salmueras de SQM Salar: Universidad de Concepción., disponible en http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/3595

Goonan, T.G. (2012). *Lithium use in batteries*: U.S. Geological Survey Circular 1371, 14 p., disponible en http://pubs.usgs.gov/circ/1371/.

Hao, H., Liu, Z., Zhao, F., Geng, Y., & Sarkis, J. (2017). Material flow analysis of lithium in China. *Resources Policy*, *51*.

Haynes, W. M. (2014). *CRC handbook of chemistry and physics*. CRC press.

Hidrominex Geoscience. (2022). *Olaroz Resource Update April 2022: Olaroz Lithium Facility Stage 2 Technical Study* (inf. téc.). Jujuy Province, Argentina. Informe para Allkem. Versión 4. Recuperado de https://www.datocms-assets.com/53992/1652401832-2022-05-10-tech-reprt-olaroz.pdf

Hu, Q. (2012). Lithium: The literature regarding its uses in chemistry, psychiatry, and the engineering of materials and batteries. *Science & Technology Libraries*, 31 (2), 190-199.

International Energy Agency (2022). Global Supply Chains of EV Batteries, IEA Publications.

Jones, B., Acuña, F., & Rodríguez, V. (2021). Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos.

Kesler, S. E., Gruber, P. W., Medina, P. A., Keoleian, G. A., Everson, M. P., & Wallington, T. J. (2012). Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore geology reviews*, 48, 55-69.

Knehr, K. W., Kubal, J. J., Nelson, P. A., & Ahmed, S. (2022). *Battery Performance and Cost Modeling for Electric-Drive Vehicles: A Manual for BatPaC v5. 0* (inf. téc.). Argonne National Lab (ANL), Argonne, IL (United States).

Kunasz, I. A. (2006). Lithium resources. *Industrial Minerals and Rocks, SME (Soc. Mining Metallurgy and Exploration)*, 599-614.

López, A., Obaya, M., Pascuini, P., & Ramos, A. (2019). *Litio en la Argentina: Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor.* (Vol. 698), Inter-American Development Bank (BID).

López, V. L., Schalamuk, B. I., & Azarevich, M. B. (2020). Proyecto: Instalación de una planta de carbonato de sodio en el noroeste argentino, para la producción de carbonato de litio.

Maxwell, P. (2015). Transparent and opaque pricing: The interesting case of lithium. *Resources Policy*, 45, 92-97.

McCoy, M. (1999). Chilean inorganics muscle into market. *Chemical & engineering news*, 77 (31), 11-16.

Mohr, S. H., Mudd, G. M., & Giurco, D. (2012). Lithium resources and production: critical assessment and global projections. *Minerals, 2* (3), 65-84.

Munk, L., Bradley, D., Hynek, S., & Chamberlain, C. (2011). Origin and evolution of Li-rich brines at Clayton Valley, Nevada, USA. *AGU Fall Meeting Abstracts, 2011*, V13B-2602.

Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., & Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: present and future. *Materials today*, 18 (5), 252-264.

Obaya, M., & Céspedes, M. (2021). Análisis de las redes globales de producción de baterías de ion de litio: implicaciones para los países del triángulo del litio.

Obaya, M., López, A., & Pascuini, P. (2021). Curb your enthusiasm. Challenges to the development of lithium-based linkages in Argentina. *Resources Policy*, 70, 101912.

Ober, J. (2000). USGS Mineral yearbook, 2000.

Olivetti, E. A., Ceder, G., Gaustad, G. G., & Fu, X. (2017). Lithium-ion battery supply chain considerations: analysis of potential bottlenecks in critical metals. *Joule, 1* (2), 229-243.

Radetzki, M. (2013). The relentless progress of commodity exchanges in the establishment of primary commodity prices. Resources policy, 38 (3), 266-277.

Rioyo, J., Tuset, S., & Grau, R. (2022). Lithium extraction from spodumene by the traditional sulfuric acid process: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 43* (1), 97-106.

Schteingart, D. y Maito, E. (2022). ¿Cuánto deja la minería en Argentina? Un análisis a partir de la Encuesta Nacional a Grandes Empresas (ENGE). *Documentos de Trabajo del CEP XXI N°13, Centro de Estudios para la Producción XXI* – Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.

SRK Consulting. (2022). *SEC Technical Report Summary. Pre-Feasibility Study, Salar de Atacama, Región II, Chile* (inf. Téc). Informe para Albemarle. Recuperado de https://fintel.io/doc/sec-albemarle-corp-915913-ex963-2023-january-26-19383-7379

Tahil, W. (2007). The trouble with lithium. Implications of Future PHEV Production for Lithium Demand. *Martainville: Meridian International Research.*

Talens Peiró, L., Villalba Méndez, G., & Ayres, R. U. (2013). Lithium: Sources, production, uses, and recovery outlook. *Jom, 65*, 986-996.

Wentker, M., Greenwood, M., & Leker, J. (2019). A bottom-up approach to lithium-ion battery cost modeling with a focus on cathode active materials. *Energies, 12* (3), 504.

Zappettini, E.O.; Gozalvez, M.R. 2021. Potencial en recursos minerales del territorio continental de la República Argentina. (Cu, Mo, Pb, Zn, Au, Ag, Li, K, B). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. *Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales N° 47, 95 pp.*

Zubi, G., Dufo-López, R., Carvalho, M., & Pasaoglu, G. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 89*, 292-308.

6. FUENTES DE INFORMACIÓN CONSULTADAS

SIACAM. (2023). Tablero Global del Litio.

Ministerio de Desarrollo Productivo. Unidad Gabinete de Asesores. Dirección Nacional de Estudios para la Producción. (2023). *Salarios promedio y mediano, por provincia y sector de actividad* [Data set]. https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-salarios-promedio-mediano-por-provincia-sector-actividad

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Precios internacionales del carbonato de litio (Tablero global del litio - SIACAM)* [Data set]. https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-precios-internacionales-carbonato-litio-tablero-global-litio---siacam

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Cartera de Proyectos Mineros en Argentina del SIACAM* [Data set]. https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-cartera-proyectos-mineros-argentina-siacam

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Precios Internacionales de Minerales del SIACAM* [Data set]. https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-precios-internacionales-minerales-siacam

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Empleo y Salario del Sector Minero (SIACAM)* [Data set]. https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-empleo-salario-sector-minero-siacam

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Producción minera de Argentina y participación en el total de la economía (SIACAM)* [Data set]. https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-produccion-minera-argentina-participacion-total-economia-siacam

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Recursos y reservas de litio (Tablero global del litio - SIACAM)* [Data set]. https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-recursos-reservas-litio-tablero-global-litio---siacam

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Proyectos de litio en el mundo (Tablero global del litio - SIACAM)* https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-proyectos-litio-mundo-tablero-global-litio---siacam

Ministerio de Economía. Secretaría de Minería. Subsecretaría de Desarrollo Minero. (2023) *Demanda mundial de litio (Tablero global del litio - SIACAM)* https://datos.gob.ar/en_AU/dataset/produccion-demanda-mundial-litio-tablero-global-litio---siacam