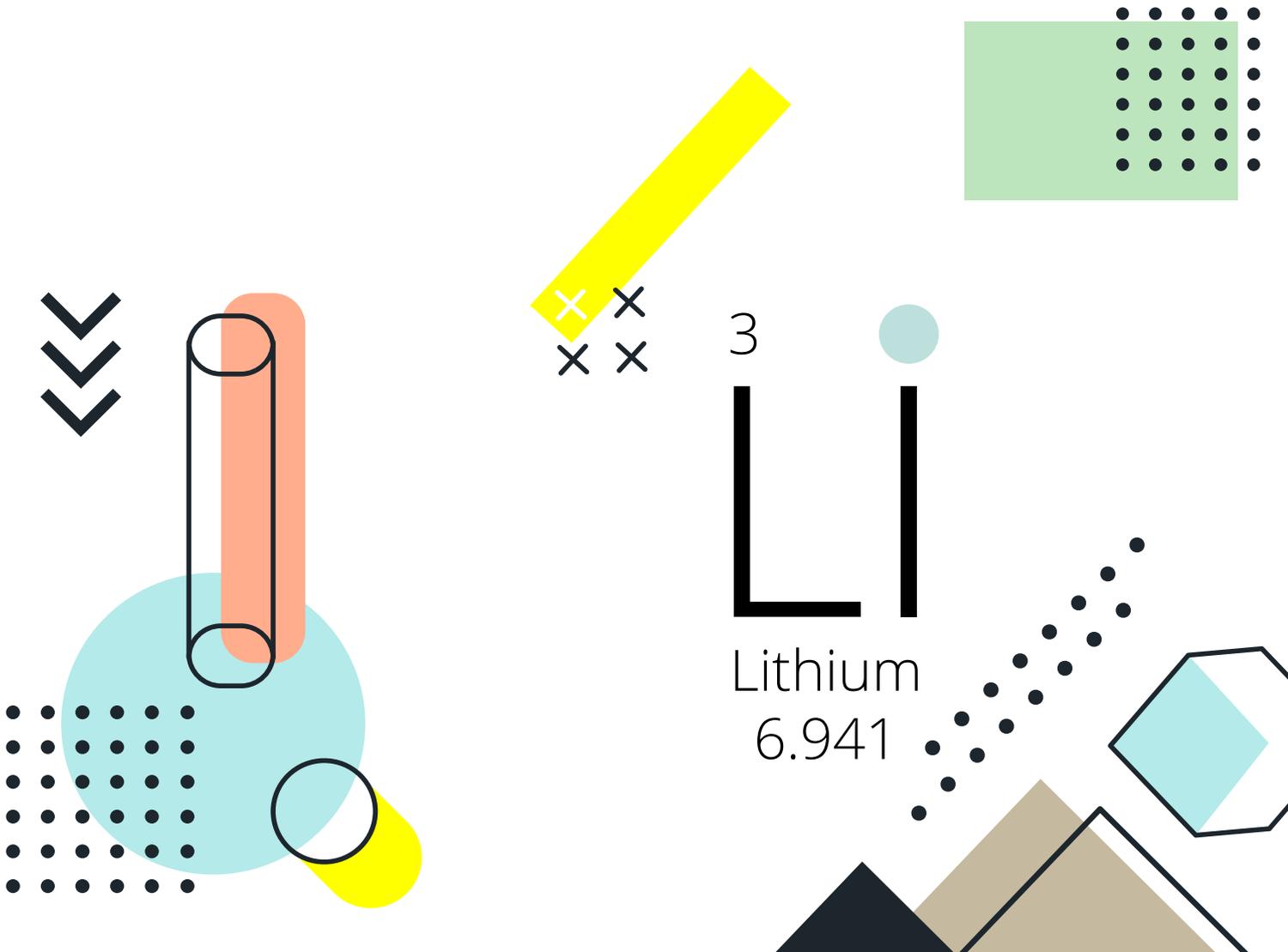


# PRIMERA PARTE

+++++

Estudio y obtención  
de los minerales de litio



# Caracterización geológica de las fuentes actuales y potenciales de obtención de Litio en la República Argentina. Panorama acerca del Mercado del Litio

Ricardo Etcheverry, Mario Tessone, Pilar Moreira y Eduardo Kruse

## Resumen

En este trabajo se describen y analizan las características geoquímicas y mineralógicas del litio y sus principales tipos de depósitos reconocidos y yacimientos en producción (salares, pegmatitas y arcillas), así como otras fuentes alternativas de obtención (salmueras geotermales e hidrocarbúferas y agua de mar). Asimismo, se presenta un análisis general acerca del mercado mundial y regional de este elemento químico, cuya demanda es y será creciente, y estará destinada fundamentalmente a la construcción de baterías para la industria automotriz. Además, se presentan las perspectivas para el país en función de los depósitos minerales identificados tales como importantes depósitos en salmueras que integran el "Triángulo del Litio" en la Puna, pegmatitas de tipo LCT con silicatos y fosfatos de litio en la Provincia Pegmatítica Pampeana y potenciales depósitos de arcillas en cuencas formadas durante el Neógeno de los Andes Centrales. Se sugiere realizar estudios que permitan cuantificar los recursos y reservas de estos depósitos, así como también realizar estudios que permitan establecer una línea de base ambiental de estas áreas, llevado a cabo por organismos técnicos específicos del ámbito estatal.

**Palabras clave:** Fuentes de litio, Mercado del litio, República Argentina.

## Abstract

This paper describes and analyzes the geochemical and mineralogical characteristics of lithium and its main types of recognized deposits (brines, pegmatites and clays), as

well as other alternative sources (geothermal and hydrocarbon brines and sea water). Likewise, a general analysis of the Lithium world and regional market is presented. The Lithium demand is and will be growing, and will be mainly destined to the construction of batteries for the automotive industry. In addition, the perspectives for the country are presented based on the mineral deposits identified such as important brine deposits that integrate the "Lithium Triangle" in the Puna, LCT type pegmatites with silicates and lithium phosphates in the Pegmatite Pampeana Province and potential clay deposits in basins formed during the Neogene of the Central Andes. It is suggested to carry out studies by specific technical organisms of the state scope that allow quantifying the resources and reserves of these deposits, as well as to establish an environmental baseline of these areas.

**Keywords:** Lithium sources, Lithium market, Argentinian Republic.

## 1.Introducción.

### Mineralogía y Geoquímica.

En esta colaboración se describen y analizan las características geoquímicas y mineralógicas del litio y sus principales tipos de depósitos reconocidos y yacimientos en producción, así como otras fuentes alternativas de obtención. Asimismo, se presenta un análisis general acerca del mercado mundial y regional de este elemento químico, como las perspectivas para el país en función de los depósitos minerales identificados.

El litio (Li) fue descubierto por J.A. Arfvedson en 1817, y recibe el nombre de "litio" (significa "roca", en griego) por el químico J.J. Berzelius, debido a haberlo aislado del mineral petalita (aluminio silicato de litio) procedente de una mina de la Isla de Uto, Suecia (de la Hoz et al. 2013). Es un metal alcalino que comparte propiedades con el sodio, potasio, rubidio y cesio. Todos ellos pertenecen al Grupo I de la tabla periódica y tienen un solo electrón en la última capa, lo que los hace muy reactivos. El litio funde a 181°C y tiene un punto de ebullición de 1342°C; a la llama del mechero da un color rojo carmesí característico, que permite identificarlo cualitativamente. Desde el punto de vista del ciclo geoquímico se lo considera entre los elementos litófilos (tienen preferencia por asociarse con oxígeno y silicio). Su concentración promedio en la corteza es de unas 20 partes por millón (ppm), se empobrece en las rocas básicas (15 ppm) y enriquece en las graníticas (40 ppm). El agua de mar contiene un promedio de sólo 0,17 ppm de litio. Si bien los océanos contienen algunos millones de toneladas de litio, su extracción en la actualidad resultaría antieconómica. Se presenta fundamentalmente como iones libres en las salmueras de salares; en ciertos minerales de las pegmatitas (silicatos y fosfatos) y en arcillas del grupo de las esmectitas (hectorita). En menor medida en aguas residuales de pozos petrolíferos y en campos geotermales.

En el cuadro 1 se presentan los minerales más comunes de litio, con su fórmula química y tenor porcentual que contienen.

Nombre del mineral	Li <sub>2</sub> O (%)	Formula química
Esodumeno	8,03	LiAl(SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Petalita	4,50	LiAlSi <sub>4</sub> O <sub>10</sub>
Montebrasita	7,4	LiAl(PO <sub>4</sub> )OH
Ambligonita	7,40	(Li,Na) AlPO <sub>4</sub> (F,OH)
Lepidolita	7,70	K(Li,Al) <sub>3</sub> (Al,Si) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub>
Litiofilita	9,53	LiMnPO <sub>4</sub>
Jadarita	7,3	LiNaSiB <sub>3</sub> O <sub>7</sub> (OH)
Hectorita	<1-3	Na <sub>0,3</sub> (Mg, Li) <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (F,OH) <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O

**Cuadro 1.** Minerales de litio de interés (Fuente: webmineral.com)

Si bien se conocen más de un centenar de especies minerales que contienen litio en su estructura, fundamentalmente se presentan en rocas pegmatíticas, como: esodumeno, petalita, lepidolita, ambligonita y montebrasita, entre otros. Sin embargo, la presentación más destacable, para la producción, es como ion libre en salmueras (brines) de salares y otras cuencas salinas de ambientes áridos. También se asocia a materiales sedimentarios como

hectorita (arcilla con litio), junto a boratos y zeolitas (jadarita).

## 2. Tipos de depósitos. Recursos.

Del análisis de diferentes contribuciones acerca de los yacimientos de litio, se puede establecer una evolución acerca de su obtención, con una primera etapa a partir de las pegmatitas, luego desde las salmueras y en los próximos años se completará con los asociados a arcillas. La distribución estimada es la siguiente: salares 58%, pegmatitas 26% y arcillas 7%. Finalmente, en contenidos mucho más bajos que cubren el 9% restante, se presenta en salmueras geotermiales e hidrocarbúferas y en el agua de mar.

Las pegmatitas con espodumeno son los depósitos de litio más fácilmente explotables, pueden contener hasta 0,5 Mt (Millones de ton) de litio. Mientras que los depósitos emplazados en salares cuentan con mayores reservas y pueden alcanzar hasta 7 Mt de litio. Aquellos proyectos y yacimientos asociados a rocas sedimentarias (arcillas) son de grado medio en cuanto a leyes y tonelajes.

De acuerdo con *Bowell et al. (2020)* existen tres tipos de depósitos económicos de litio: 1) Pegmatitas peraluminosas y sus asociados de rocas metasomáticas; 2) Salar con evaporitas y depósitos geotermiales; y 3) Arcillas (hectorita) derivadas de depósitos volcánicos.

Las pegmatitas ricas en litio son rocas plutónicas formadas por procesos tardimagmáticos y concentraciones de granitos peraluminosos. *Cerný y Ercit (2005)* y *Galliski et al. (2012)* las clasifican como pegmatitas de tipo LCT, debido a su enriquecimiento por elementos incompatibles como el litio, cesio y tantalio. Su mineralogía suele ser compleja, son dominadas por asociaciones de cuarzo + feldespato potásico + albita + moscovita y accesorios. Desde hace unos años, en Australia se emplea la fluorescencia de rayos X (XRF), en modo portátil, para la exploración de estos depósitos. Esta técnica se usa para: 1) Identificar y evaluar la fertilidad de la roca madre granítica con respecto al alojamiento potencial de pegmatitas tipo LCT; 2) Diferenciar pegmatitas ricas en metales raros de otras estériles; y 3) Ofrecer una aproximación del tenor de litio. Estas pegmatitas se localizan en numerosas regiones del mundo, pero los países donde han sido explotadas con éxito económico son Australia (aproximadamente el 26% de la producción total), Estados Unidos, China y Portugal. Otros países que cuentan con estos cuerpos portadores de minerales de litio son Zaire, Namibia, Zimbabwe, Canadá, Rusia, Uzhekistan, Brasil y Argentina. En general todas estas pegmatitas son del tipo Li y Cs-Ta, un ejemplo destacable es la mina Mte. Cattlin (Australia). Más recientemente, se descubrieron y exploraron los proyectos Greenbushes (Australia Occidental) y Tanco (Canadá). Ambos, con un contenido máximo de 2,6-2,8% en peso de  $Li_2O$  en roca, longitudes del orden de un kilómetro y espesores de hasta 100 metros. Greenbushes cuenta con una capacidad de producción de alrededor de 100.000 toneladas de LCE/año.

Proyecto Sonora México	Mina I <u>hacker Pass</u> EEUU	Mina <u>Wodgina</u> Australia Occidental	Mina <u>Pilgangoora</u> Australia Occidental	Mina <u>Arcadia</u> , Zimbabwe
Estado Sonora	Condado Humboldt, Nevada	100 km al SE Port Hedland	región de Pilbara	a 38 km de Harare
reservas probadas-probables 243.8Mt	reservas probadas-probables 179.4Mt	reservas 151.94Mt, ley 1.17% de $Li_2O$	reservas probadas-probables 108.2Mt	reservas probadas-probables 29.8Mt con 1.31% de $Li_2O$
4.5Mt de LCE	3.1Mt de LCE	Prod. 750,000 t, contenido 6% concentr./año	1.25% $Li_2O$ , 120 ppm $Ta_2O_5$ -1.17% $Fe_2O_3$	Producción 212,000tpa 6% espodumeno - petalita y 188,000lbTa

**Cuadro 2.** Principales Proyectos de Litio, localizados en el hemisferio Norte, Australia Occidental y Zimbabwe.

Las salmueras de salares y cuencas salinas de ambientes áridos, representan hoy la principal fuente de este elemento, y se ha establecido que se distribuyen entre los Andes Centrales (80%), Tíbet-China (13%), Estados Unidos (3%) y el 4% restante en otros sitios de menor importancia (Mongolia, Canadá, etc.). En los últimos años, las salmueras continentales son la fuente preferida por los inversores. Esto se debe a que la exploración y desarrollo de tales proyectos son más favorables desde perspectivas ambientales, logísticas y de costos que los depósitos de roca dura. Una salmuera es una solución que contiene sales disueltas en concentraciones superiores a las del agua de mar (> 3,5%). Estas salmueras con litio se definen típicamente como hipersalinas, con una salinidad que oscila entre 1,7 y 24 veces la del agua de mar (Munk et al., 2016).

En los Andes Centrales las salmueras portadoras de litio se emplazan en Bolivia, Chile y Argentina, conformando el denominado "Triángulo del Litio", Benson et al. (2017).

Recientemente, este Triángulo se ha ampliado, pues se ha reconocido en Perú una cuenca que alberga un yacimiento de boratos y sulfato de sodio, que además contiene litio y potasio en la salmuera. También en este país y asociado a rocas volcánicas ácidas se definió el depósito Falchani (ex Macusani, Puno), conformado por arcillas asociadas a riolitas alteradas hidrotermalmente, enriquecidas en U y Li. El litio está adsorbido a arcillas y se vincula con sedimentitas lacustres dispuestas en una caldera, donde se han determinado leyes puntuales de 4000 ppm  $\text{Li}_2\text{O}$ .

Los salares del Tíbet son relativamente ricos en litio, pero tienen el inconveniente de altos contenidos de magnesio en las salmueras (perjudicial para el tratamiento y separación del litio), además de otras cuestiones relacionadas con la inestabilidad política de la región, y su falta de infraestructura básica para su desarrollo. Carbonato de litio natural se forma en el lago Zabuye (Tíbet, China).

En los Estados Unidos se localizan en el Desierto de Mojave (Searles Lake, California) y en el Estado de Nevada; el primero es un tradicional yacimiento de boratos y halita donde también se extraen salmueras con litio desde hace algunos años. Mientras que Silver Peak (Nevada) se explota por minerales estratégicos (Li y K), por la firma Albemarle Corporation Lithium Operation, y es la principal fuente de Li de este país.

Finalmente están los depósitos vinculados a rocas sedimentarias, para estos se podría trazar un paralelismo con la situación de los hidrocarburos y denominarlos como "no convencionales", allí el litio se presenta como hectorita (arcilla) en los yacimientos de Bigadic (Turquía) y jadarita (zeolita) asociado a boratos de calcio en Jadar (Serbia), se originan por procesos de alteración de rocas integradas por vidrio volcánico en climas áridos. Para Jadar se ha definido un recurso mínimo de 435.000 toneladas de litio. Las potenciales fuentes de litio en estos depósitos de arcilla siguen siendo un tema de debate. Las acumulaciones anómalas de litio tienen relación genética y/o espacial con volcanes de composición riolítica (Evans 2014). Estos depósitos se pueden subdividir en tres subtipos: (1) el litio está como hectorita y en otras arcillas de capa mixta; (2) en los que el litio ocurre como un ion adsorbido a minerales arcillosos (no hectorita); y (3) en depósitos de jadarita. Así, las concentraciones de arcillas con litio se disponen en cuencas sedimentarias de edad neógena (Terciario), donde se registra una fuerte actividad volcánica desarrollada en un clima árido. Hay varios depósitos de interés, los mismos se han explorado y representarían proyectos mineros de importancia internacional, por ejemplo, en el SO de Estados Unidos (Thacker Pass) y en el N de México (Sonora). "Thacker Pass" representa el depósito más importante conocido hasta el momento, se sitúa en el SE de la mega-caldera McDermitt (dimensiones 30 x 40 km), en el norte del Estado de Nevada (USA). Dicha caldera se habría formado hace unos 16.3 millones de años, con posterioridad las aguas se filtraron a través de las rocas volcánicas facilitando la lixiviación de litio de estas. Luego, este elemento se trasladó y depositó en la cuenca central, conformándose un lago y una gruesa secuencia de sedimentitas lacustres asociadas. Perforaciones efectuadas, confirman que la mineralización es extensa. Las arcillas presentan contenidos variables de litio (desde 9000 hasta 4000 ppm) y mineralógicamente se identificó la siguiente variación: horizontes superiores esmectíticos (hectorita) y niveles más profundos illíticos (K), esta diferenciación apoya la hipótesis de la

diagénesis. Se definieron reservas por 3.1 mill/ton de LCE con 2,35 ppm Li. El Proyecto contempla una capacidad de producción inicial de 30.000tpa de  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  grado batería (2022) y luego aumentará a 60.000tpa (2026). Se desarrollará como una operación minera a cielo abierto, el mineral se procesará en un circuito de lixiviación con ácido sulfúrico para liberar el litio de las arcillas. (Lithium Americas, 2019).

La exploración desarrollada en estos últimos años, debido al requerimiento del mercado, ha aumentado sustancialmente los recursos de litio identificados. Como resultado de este accionar se definieron proyectos y minas de litio, que totalizan un valor de reservas combinadas del orden de 475 Mt.

En referencia a salmueras geotérmicas, recientemente se ha investigado el Campo Geotérmico del Mar de Salton (SSGF, Estados Unidos), en el cual se ha estimado un recurso potencial de litio de 15 millones de toneladas métricas. Se trata de un lago poco profundo en el Condado Imperial de California, donde el litio está disuelto en la salmuera y resultaría ser un subproducto de la energía geotérmica. Aunque Estados Unidos no ha sido un jugador destacado en el mercado mundial, esto podría cambiar si se pueden desarrollar tecnologías para extraer lo que se estima es una importante cantidad de litio, la cual estaría en salmueras geotérmicas presentes en los Estados de Arizona, Nevada y California.

De acuerdo con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), se han determinado reservas de litio en 17 países. Los mayores recursos se concentran en Bolivia con 21 millones de toneladas métricas certificadas por USGS en su informe anual 2020; sin embargo, datos del gobierno boliviano, sostienen que estas ascenderían a 100 millones. Le sigue la Argentina con 19 millones de toneladas métricas y luego Chile, que posee 9 millones. El reporte añade que los recursos de litio en Estados Unidos son de 6,8 millones de toneladas, seguido de Australia en el quinto lugar con 6,3 millones y China en el sexto con 4,5 millones.

### **3. Usos. Producción y Mercados.**

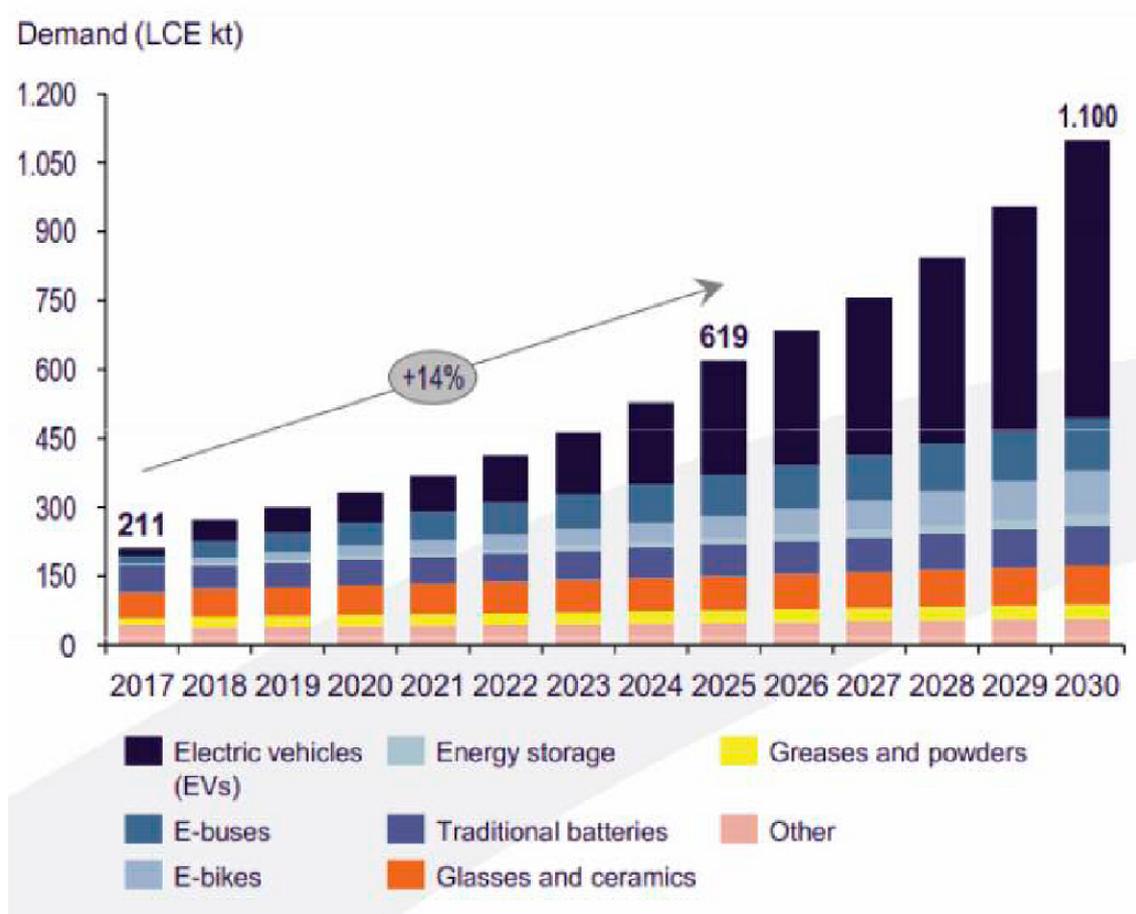
El litio es un metal muy liviano, blanco y blando, presenta excelentes condiciones en la conducción del calor y de la electricidad. Este elemento y sus compuestos químicos exhiben un amplio rango de propiedades, entre ellas: el elevado potencial de electro-oxidación; una expansión termal de coeficiente extremadamente alta; condiciones fundentes y catalíticas; modificador de la viscosidad en fundiciones, y en medicina actúa sobre desórdenes bipolares y regula manías. Como resultado de estas características, se utiliza en numerosas aplicaciones: industrias del vidrio y la cerámica (37%); producción de baterías (20%) –es un mercado que crece de manera vertiginosa–; grasas lubricantes (11%), aleaciones livianas con aluminio (7%), aire acondicionado (5%), colada continua (5%), goma y termoplásticos (3%), industria farmacéutica (2%), procesos químicos y otros usos (el resto).

Desde 2017, el mercado mundial del litio ha orientado su interés a la producción de baterías para celulares, computadoras o como almacenamiento de energía para la red eléctrica, sin embargo, los analistas sostienen que lo que crecerá de manera exponencial es la fabricación de baterías de vehículos eléctricos. De hecho, las proyecciones de la Consultora Roskill (en Barria, 2019) apuntan a que el 90% de las baterías en la próxima década serán destinadas a esta industria. En la actualidad, el mercado industrial de baterías está dominado por China, que concentra el 70% de la producción y una parte aún mayor del mercado automotriz. Es importante aclarar que las baterías no se pueden exportar por avión y requieren un largo trayecto marítimo, en el caso de no estar las fábricas próximas a las plantas automotrices. De acuerdo con las empresas productoras de automóviles eléctricos, se requiere mantener la cadena de fabricación de baterías territorialmente cercana a la de vehículos. Pero, además, no están inclinadas a correr riesgos de instalarse en países donde no esté garantizada la estabilidad y la seguridad jurídica.

Una vez realizada la extracción del litio, el paso siguiente es su procesamiento para alcanzar los químicos, como son el carbonato y/o hidróxido de litio. El carbonato de litio es el producto con mayor volumen de transacción comercial, convirtiéndose en el compuesto más importante. En

esta fase están los productores sudamericanos, que procesan el metal después de extraerlo. De ahí en adelante la cadena de producción se torna cada vez más especializada, pues la siguiente meta es producir cátodos, celdas y finalmente baterías.

Recientemente la Revista Panorama Minero (2020) sostiene que tres son los vectores que impulsarán la demanda de estas baterías, ellos son: crecimiento del mercado de vehículos eléctricos, regulaciones medioambientales y el impacto motivado por la diferencia de costos por Km urbano de recorrido para el año 2030; por otra parte, indica que se registra una disminución en el costo de producción de las celdas de batería, así en el período 2014-2018, se pasó de U\$S 280 a 130/KWh, lo cual contribuye positivamente a su desarrollo. Esta situación se visualiza en la figura 1.



**Figura 1.** Demanda proyectada de litio (en miles de toneladas de LCE). Simplificado de la Revista Panorama Minero (Presentación Eramet-VII Encuentro Internacional del Litio en Sudamérica, Jujuy).

Según Roskill Services Ltd. (2013), el carbonato de litio representaba aproximadamente un 48% del consumo global total de los productos químicos (25% carbonato de litio de grado técnico y 23% carbonato de litio de grado batería). Mientras que el hidróxido de litio representaba un 16% del consumo global total. Otras formas de consumo incluyen bromuro de litio, cloruro de litio y minerales de litio. El mercado es y será creciente, ya que la demanda aumenta año tras año, esperándose un crecimiento promedio de entre 10-12% en los próximos años. En el marco de la situación geopolítica, el litio tiene un papel estratégico.

De acuerdo con Statista (2020) la producción mundial, en toneladas métricas LCE, en el año 2019, fue liderada en orden decreciente por Australia, Chile, China, Argentina, Zimbabue, EEUU, Brasil, Namibia y Portugal (Fig. 2). Mientras que el consumo estuvo centrado, en particular en

Asia: China 40%, Japón 15% y Corea del Sur 13%. Se estima que la producción alcanzaría para el año 2030 posiblemente un millón de toneladas de LCE en el triángulo de litio.

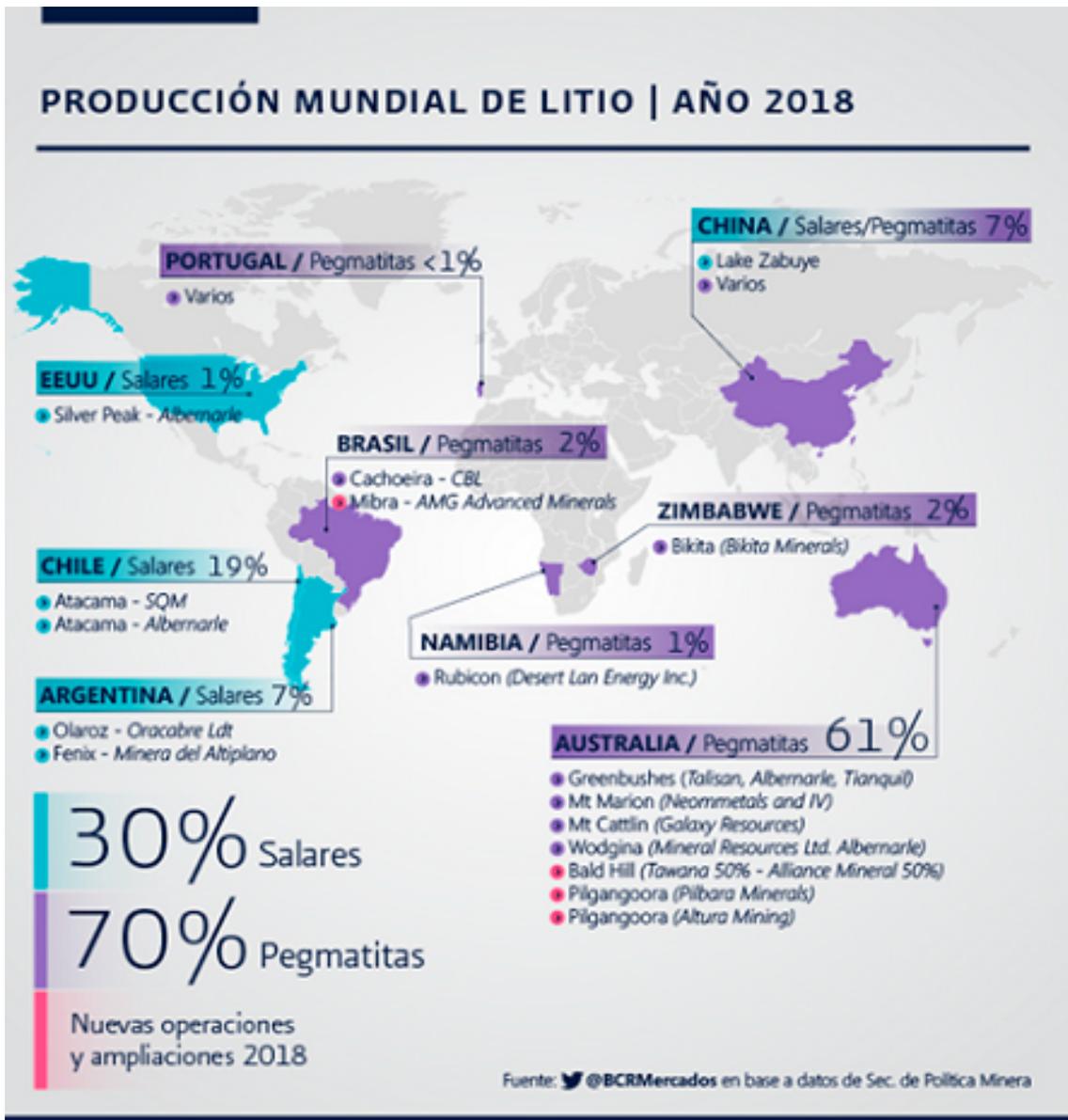


Figura 2. Producción mundial de litio por regiones, operaciones en pegmatitas y salares (simplificado de BCR Mercados).

### 3.1. Situación en el “Triángulo del Litio”

Bolivia ha planificado una Estrategia Nacional de Industrialización de los recursos evaporíticos, consideró tres fases: a) explotación y obtención de carbonato de litio; b) industrialización; y c) comercialización hasta la producción de baterías. Sin embargo, la empresa Japan Oil, Gas and Metals National Corp. (NUSO, 2013) ha realizado pruebas para la producción piloto de carbonato de litio en el salar de Uyuni e indicó que la obtención de ese elemento es compleja, porque en la salmuera existen otros cinco elementos adicionales y la separación es complicada. En la actualidad, sólo se produce y exporta cloruro de potasio y mínimamente carbonato del litio.

La producción de Chile es mayoritariamente de carbonato de litio, que se obtiene a partir de las salmueras contenidas en el Salar de Atacama, en la II Región. También produce cloruro e hidróxido de litio en menor proporción. Según la Comisión Nacional de Minería de Chile (Cochilco), para el año 2021 la producción debería ser de unas 147.000 toneladas, principalmente por las ampliaciones de las explotaciones de las empresas estadounidense Albemarle y la chilena SQM. Estas salmueras tienen bajo nivel de impurezas y se extrae además potasio como subproducto. De acuerdo con Cochilco, se espera que el 59% del total producido se destine a baterías de automóviles y dispositivos electrónicos.

Argentina tiene potencialidad para convertirse en un importante productor mundial, de acuerdo con la información presentada por el Estado Nacional y el Banco Interamericano de Desarrollo (2019). La mayor parte de este recurso se localiza en los salares de la Puna. Estas salmueras se asocian a cuencas endorreicas vinculadas a climas áridos, las cuales han cobrado singular impulso y generado una actividad importante para la región, ejemplos se manifiestan en los salares del Hombre Muerto, Olaroz y Cauchari, localizados en Catamarca y Jujuy respectivamente. Se considera que, en el corto plazo, el país debe ser un proveedor estratégico de los químicos del litio. En ese contexto, ya existen dos plantas en funcionamiento para elaborar químicos (Sales de Jujuy y Minera del Altiplano, empresas de capitales mayoritarios australiano y estadounidense, respectivamente). Minera del Altiplano (subsidiaria de FMC Lithium Corp.) explota la mina "Fénix", desde 1998 en el Salar del Hombre Muerto (Catamarca). Mientras que Sales de Jujuy, es un joint venture (JV) entre la empresa australiana Orocobre (66,5% del capital), la japonesa Toyota Tsusho Corporation (25%) y el Estado provincial [Jujuy Energía y Minería Sociedad del Estado (JEMSE) – 8,5%], que opera desde 2015 en el Salar de Olaroz. Existe otro emprendimiento en fase de construcción en el Salar de Olaroz-Cauchari, a cargo de Minera Exar, otro JV que conforman en partes iguales la firma chilena Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (SQM) y la canadiense Lithium Americas, que cuenta con una participación minoritaria de JEMSE del 8,5%.

La producción de Minera del Altiplano (FMC) y Sales de Jujuy S.A. ha sido para el año 2019, de 22.500 y 17.500 tpa respectivamente. En 2019 JEMSE estableció un acuerdo con la compañía italiana Grupo SERI para la construcción de una planta piloto para fabricar baterías. La sociedad está constituida por JEMSE (60%) y Grupo SERI (40%). Esta planta consumiría 96Mwh/año que representa unas 100 t/año.

El método dominante de extracción de litio en el "Triángulo del Litio" es la evaporación solar de las salmueras en piletas de grandes dimensiones y escasa profundidad. Aunque los costos de procesamiento son bajos, esta técnica tiene una serie de potenciales desventajas: se trata de un proceso lento (hasta 24 meses), depende de las condiciones climáticas (radiación solar, vientos, velocidad de evaporación, régimen de lluvia) y tiene una eficiencia de extracción de sólo el 50-55%. Se obtiene un concentrado de evaporación LiCl, que luego debe ser purificado y al que se adiciona carbonato de sodio para obtener el LCE. Existe otro proceso de concentración, donde se emplean membranas de absorción selectivas de litio, aquí no es tan determinante la composición de la salmuera ni las condiciones meteorológicas, y se generan menos residuos, pero se requieren reactivos químicos y equipos de adsorción sofisticados, es por consiguiente una operación más costosa. Una cuestión adicional, es la potencial discusión con comunidades de la región, ya que algunas empresas utilizan químicos que dejan residuos en el ambiente y además este proceso requiere de grandes cantidades de agua, un recurso escaso en el Altiplano-Puna (FARN, 2019). Esta es una de las razones, por lo que la instalación de estos emprendimientos ha sido polémica, y además algunas comunidades originarias reclaman que se les de participación en las decisiones y se respete su derecho a la consulta previa, libre e informada, tal como figura en la Declaración de Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas y el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (Lombardi, 2017).

#### **4. Depósitos en la Argentina**

A finales de la década del cincuenta del siglo XX ya se observa un interés apreciable por el litio,

tanto en el mundo como en el país, ya que es un insumo necesario en la industria nuclear. Corresponde aclarar que, con anterioridad, existen valiosos trabajos en Argentina, como los realizados por Catalano (1926, 1930, 1964). Entre los años 60 - 70, a través de la Dirección General de Fabricaciones Militares (DGFM) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) se inició el denominado Plan Salares y la investigación de las pegmatitas de Sierras Pampeanas con la finalidad de evaluar el recurso, así tenemos contribuciones como las de Angelelli y Rinaldi (1963) acerca de pegmatitas portadoras de litio en Córdoba y San Luis. A principios de la década del ochenta, la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales inicia una prospección y exploración de los salares de la Puna, con énfasis en determinar la presencia de Li y K (Nicolli et al. 1980 y 1982). Con posterioridad, corresponde aclarar que existen otras contribuciones regionales y puntuales acerca del litio y evaporitas de la región del NOA, entre las que se pueden citar: Schalamuk et al. (1983), Viramonte et al. (1984), Angelelli (1984), Igarzábal y Alonso (1990), Alonso (1999), quienes brindan un panorama general acerca de este recurso en el país.

Sin embargo, a partir de los noventa, se impulsó la actividad minera metalífera a través de la actualización y generación de leyes.



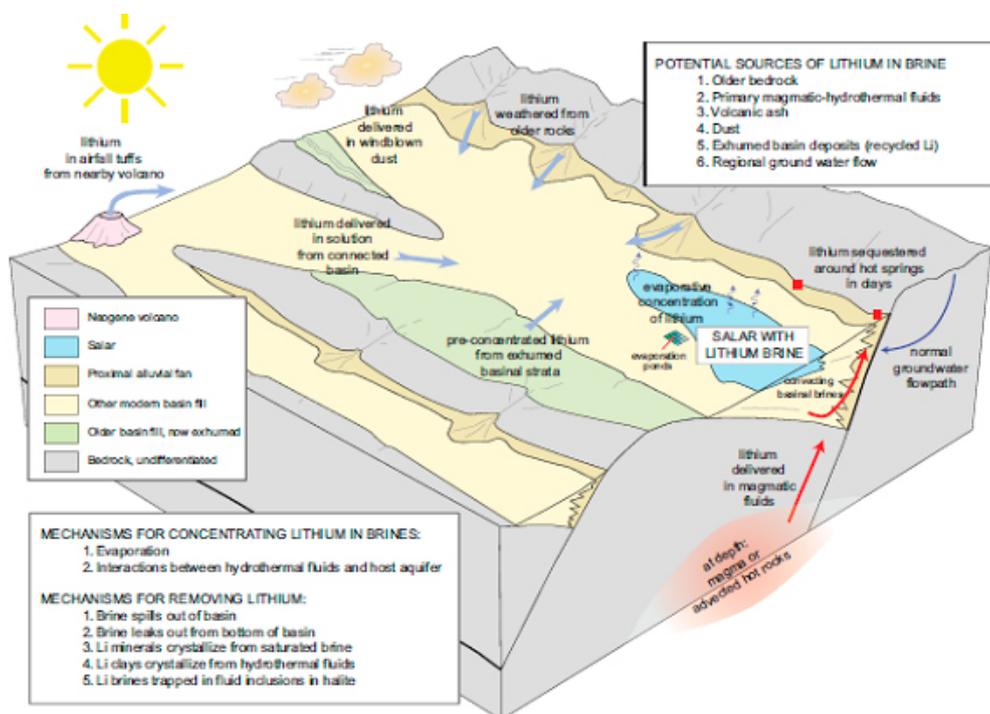
**Figura 3.** Localización de proyectos en exploración y yacimientos en explotación de litio en la Puna Argentina (simplificado de BCR Mercados).

Esto queda reflejado en el Artículo 124 de la Constitución Nacional (se establece que los recursos pertenecen a las provincias), el Código de Minería y la Ley de Inversiones Mineras. Bajo estas condiciones marco, las empresas mineras vienen desarrollando la exploración y eventual explotación del litio a partir de salmueras fundamentalmente. En la figura 3 se presentan la casi totalidad de los salares de la Puna que han sido o están siendo explorados y algunos han alumbrado depósitos de importancia, que están en preparación y/o en operación (yacimientos de Minera del Altiplano y Sales de Jujuy), que en total cuentan con una capacidad anual de producción de 46.500 toneladas.

Las reservas definidas para la región del NOA son de aproximadamente 5Mt, los recursos medidos e indicados de 32,5 Mt y los inferidos de 11,9 Mt LCE.

Los salares del NOA se localizan en la denominada Provincia Geológica Puna (Alonso y Viramonte, 1987), la cual conforma una altiplanicie sobreelevada (>3700m snm), limitada al occidente por la cordillera Volcánica Central y al oriente por la cordillera Oriental. En esta Unidad, los depósitos evaporíticos se emplazan en cuencas hidrográficas con escurrimiento endorreico y balance hidrológico negativo. Nicolli et al. (1980) y Viramonte et al. (1984) estudian la génesis del litio en estos salares y postulan que las sales solubles adsorbidas en piroclastitas neo-terciarias y cuaternarias, vinculadas a calderas volcánicas, son las que aportan este elemento y otros (B, K, Mg) al circuito hidrogeológico. Plantean un modelo de lago salino somero, que recibió aportes de aguas superficiales y subterráneas, así como contribuciones menores de fuentes termales.

Munk et al (2016) presentan estudios detallados de salmueras ricas en Li, haciendo énfasis en Clayton Valley (Nevada) y Salar de Atacama (Chile), y las comparan con otras 18 cuencas y sus salmueras asociadas, las cuales presentan concentraciones variables de 10 a 7000 mg/L de litio. Como resultado de sus estudios, determinan seis características principales que también sirven como guías de exploración, ellas son: (1) clima árido, (2) cuenca cerrada que contiene un salar (costra de sal) o lago salino o ambos; (3) actividad ígnea y/o geotérmica asociada; (4) hundimiento impulsado tectónicamente; (5) fuentes adecuadas de litio; y (6) tiempo suficiente para concentrar la salmuera. La importancia relativa de cada una de estas características aún no ha sido cuantificada y se representan en la figura 4.



**Figura 4.** Esquema donde se resumen las características geológicas, geoquímicas e hidrogeológicas de las salmueras (simplificado de Munk et al. 2016).

Los autores de esta contribución diagramaron el cuadro 3, donde se resumen las principales operaciones y proyectos existentes en el ámbito de la Puna argentina.

Proyecto	Empresa	Operado	Salar Provincia	Estado	Reserva (t LCE)	Recursos Med+Ind
Salar de Olaroz	Orocobre SA, ToyotaTsusho, JEMSE	Sales de Jujuy	Olaroz Jujuy	En operac.		6,45M t LCE
Mina Fénix	FMC Lithium Corp	Minera del Altiplano	Hombre Muerto Catamarca	En operac.		
Cauchari Olaroz	Lithium Americas, SQM, JEMSE	Minera EXAR SA	Cauchari Jujuy	En constr.		11,75M t LCE
Salar del Rincón	Enirgi Group	ADY Resour. Ltd.	del Rincón Salta	En constr.		3,5M t LCE
Sal de Vida	Galaxy Resources Limited	Galaxy Resour. Ltd.	Hombre Muerto Catamarca	Factib.	1,2M	5,67M t LCE
Sal de los Ángeles	Lithium X Energy Corp – Aberdeen Int. Inc.	Potasio y Litio Argentin. SA	Diablillos Salta	Anal. Económ Prelimin	1,5M	1,04M t LCE
Tres Quebradas	Neo lithium Ltd –POCML 3 inc.	LIEX SA	Laguna 3 quebradas Catamarca	Anal. Económ Prelimin	1,2M	714.242 t LCE
Cauchari	Advantage Li – Orocobre Limited	South Amer. Salars SA	Cauchari Jujuy	Explor. Avanz.	1,14M	
Salar del Centenario - Ratones	Eramet	Eramine Sudamer. SA	Ratones Salta	Explor. Avanz.		
Mariana I, II, III	JV Intern Lithium –Jiangxi Ganfeng Li	Litio Minera Argent.	Llullaillaco Salta	Explor. Avanz.		1,25M t LCE
Gallego Project	Everlight Resour.	Everlight Resour.	Hombre Muerto Salta	Explor. Avanz.		
Cangrejillos-Salinas Grandes	South Amer. Salars SA	Orocobre Ltd - Toyota Tsusho	Salinas Grandes Jujuy	Explor. Interm.		
Pastos Grandes	Pastos Grandes SA	Millennial- lithium	Pastos Grandes, Salta	Explor. Avanz.		2,13M t LCE

**Cuadro 3.** Principales operaciones y proyectos de litio existentes en el ámbito de la Puna

Como resulta del análisis de los salares de la Puna, se observa que el boro y el litio son elementos químicos afines, y se presentan conjuntamente en algunos de los depósitos reconocidos en este ambiente, asociados a otras evaporitas. *Bowell et al. (2020)* establecen una división de los salares en “inmaduros y maduros”. Los primeros están dominados por sedimentitas clásticas con intercalaciones de evaporitas (halita, ulexita y yeso), se vinculan con períodos climáticos más húmedos (150 a 200 mm/año) y las salmueras rara vez alcanzan la saturación de halita, son relativamente abundantes en el Altiplano en general (ej: salar de Cauchari, Jujuy). Mientras que en los “maduros” es más importante la halita, con niveles de sedimentitas (limos, arcillas, arenas) interdigitados, y estos son comunes en regiones más secas (ej.: salar del Rincón, Salta), aquí la halita se presenta en niveles superiores (porosa) e inferiores (masiva), asociada a arenas.

A nivel mundial, se tiene otra posibilidad de interés como es el yacimiento de Kirka (Turquía), el cual presenta niveles de boratos separados por arcillas (hectorita) y esta situación podría ser homologable para algunos salares de la región puneña. Así, *Muessig (1958)* halló esmectitas con litio envolviendo a cristales de tincal en el salar de Turi Lari (Jujuy), en función de esta información se sugiere que se debería practicar un estudio sistemático en las diferentes cuencas de la Puna, analizando el tipo y composición de las arcillas formadas durante el Neógeno de los Andes Centrales.

Choubrey et al. (2016) sostienen que un problema crítico en la explotación de estos depósitos de litio son las bajas concentraciones del elemento y la necesidad del uso intensivo de energía para su procesamiento. Otras dificultades posteriores a la extracción consisten en separar el litio de impurezas (Mg y Fe comúnmente) que también se pueden disolver junto con el litio. Así, son varias las cuestiones importantes para la evaluación del recurso, como son: definir la geometría del cuerpo, mezclas con el acuífero, determinar eficazmente la porosidad y rendimientos específicos. Una interesante síntesis acerca del litio, procesos de formación y depósitos presentes en las evaporitas de la región del NOA se exponen en las contribuciones de López Steinmetz et al. (2018) y Alonso (2018).

En Argentina, existen también algunos distritos con pegmatitas portadoras de minerales de litio (como accesorios) que se emplazan fundamentalmente en las Sierras Pampeanas de San Luis, Córdoba y Catamarca. Las pegmatitas son rocas ígneas o metamórficas (de mucha menor importancia), de grano grueso a muy grueso y textura idiomórfica. Los componentes accesorios que se concentran en ellas son minerales portadores de Li, Rb, Cs, Be, W, Ga, REE, Sn, Nb-Ta, U, Th, Zr y Hf, entre otros elementos. De acuerdo con su composición, se clasifican en simples y complejas. En estas últimas, los accesorios son relativamente abundantes y tienen importancia económica. En base a su estructura interna se tipifican como homogéneas y heterogéneas (zonadas).

Según las clasificaciones genéticas desarrolladas por Galliski (1994 a y b; 1999), resultan de interés las denominadas PER (pegmatita con elementos raros - subtipo ricas en Li) o LCT (pegmatita portadora de litio, cesio y tantalio), que contienen: espodumeno, amblygonita-montebrazita, lepidolita y petalita. Estos cuerpos se emplazan entre los 3 y 5 km de profundidad, son ricos en metales raros (de Li, Cs, Ta-Nb) en una proporción variable (entre 5 y 20% según las zonas). Es habitual que los individuos de espodumeno estén más representados, ellos se distribuyen principalmente en las zonas intermedia y central del cuerpo zonado, aumentando su tamaño hacia el núcleo, por lo que para cubicarlos se utilizan métodos volumétricos.

Estas pegmatitas se distribuyen principalmente en depósitos o distritos, los más importantes se localizan entre las sierras de San Luis y el Distrito El Quemado, en Cachi-La Poma, conformando una faja sub-meridional. Así se plantea la denominada "Provincia Pegmatítica Pampeana" y se postula que estos distritos económicos pertenecen a las clases de pegmatitas de muscovita y elementos raros con espodumeno, albita-espodumeno, berilo y complejo. El espodumeno se explota desde 1937 para elaborar esmaltes destinados a la industria cerámica. En general, las pegmatitas se movilizan a cielo abierto y sin mucho destape, pues para este tipo de productos los costos de extracción y flete tienen que ser relativamente bajos para ser rentables. Escasos son los depósitos que se trabajan a través de operaciones mecanizadas y subterráneas. La mayoría de los yacimientos fueron y son explotados a escala familiar y/o de Pymes.

Entre los yacimientos históricos de litio, se deben citar las minas: "Las Tapias" - socavón Arce, en Córdoba (pegmatita explotada por berilo y espodumeno); "Géminis", sector O de la sierra de San Luis (pegmatita con cristales de espodumeno y en menor medida nódulos de amblygonita-montebrazita, ubicados en el núcleo y zona intermedia); importantes son los recursos calculados para esta mina (en el orden de 25.000 toneladas). Otros depósitos de interés son La Totorá, La Viquita, San Elías, Las Cañas, Las Cuevas, Ipizca II, Reflejos del Mar, entre otros. En el período 1940-1980, la Estadística Minera indica que se obtuvieron 8700 ton con leyes entre 4,5 y 6% de  $\text{Li}_2\text{O}$ , siendo la provincia de San Luis la que proveyó 5000 ton de este total nacional. Si bien existen estudios económicos generales en cuanto a los recursos de litio en pegmatitas, los mismos deberían ser actualizados y cuantificados de manera sistemática, con un detalle al menos distrital. Investigadores de la UN de Cuyo y CONICET (Dres. Mario Rodríguez y Gustavo Rosales) han desarrollado un método de procesamiento hidrometalúrgico de espodumeno, a través de un proceso a escala de planta piloto. El mismo fue adquirido por la empresa australiana Latin Resources, que aplicará esta tecnología en Argentina. El espodumeno se extrajo del yacimiento Las Cuevas (San Luis), donde se obtiene con un 2% de  $\text{Li}_2\text{O}$  y se concentra al 5-6% aproximadamente. La solución que contiene litio se la somete a varias etapas de separación para la obtención de los distintos subproductos y al final se alcanza el grado de

carbonato de litio.

## 5.Consideraciones Finales

De la información presentada, resulta que:

La distribución global estimada para los recursos de litio es: salares 58%, pegmatitas 26% y arcillas 7%. En contenidos mucho más bajos, se presenta en salmueras geotermales e hidrocarburiíferas y en tenores no económicos en el agua de mar.

El carbonato de litio es el químico comercial más habitual, representa aproximadamente un 48% del consumo global de los productos químicos, mientras que el hidróxido de litio representaba un 16% del consumo global total. Otras formas de consumo incluyen bromuro de litio, cloruro de litio y minerales de litio. El mercado es y será creciente, ya que la demanda aumenta año tras año, esperándose un crecimiento promedio de entre 10-12% para el próximo quinquenio, destinado fundamentalmente a la construcción de baterías para la industria automotriz.

El litio es un elemento estratégico y Argentina cuenta con importantes depósitos vinculados a las salmueras de salares continentales en la región de la Puna, conformando el denominado "Triángulo del Litio", con reservas definidas para nuestro país del orden de 5Mt, recursos medidos e indicados de 32,5Mt e inferidos de 11,9Mt LCE. Estudios de detalle realizados en salmueras con litio de salares de la región del Altiplano, han podido determinar seis características principales que al mismo tiempo sirven como guías de exploración para este tipo de depósitos, ellas son: (1) clima árido, (2) cuenca cerrada que contiene un salar o lago salino o ambos; (3) actividad ígnea y/o geotérmica asociada; (4) hundimiento impulsado tectónicamente; (5) fuentes de Li; y (6) tiempo suficiente para concentrar la salmuera.

En Argentina, los yacimientos en producción son Minera del Altiplano (mina "Fénix", subsidiaria de FMC Lithium Corp, Catamarca) y Sales de Jujuy (JV entre la empresa australiana Orocobre, Toyota Tsusho Corp. y Jujuy [JEMSE-8,5%]), que opera desde 2015 en el Salar de Olaroz. Existe otro emprendimiento, en fase de construcción en el Salar de Olaroz-Cauchari, a cargo de Minera Exar. Los dos yacimientos en producción cuentan con una capacidad anual de producción de 46.500 toneladas.

A nivel global, existen depósitos de litio relacionados a rocas sedimentarias, allí se presenta como hectorita (arcilla) y jadarita (zeolita), asociados a boratos como producto de alteración de rocas integradas por vidrio volcánico en climas áridos. Muessig (1958) definió esmectitas con litio envolviendo a cristales de tincal en el salar de Turi Lari (Jujuy), en función de esta información se sugiere que se debería practicar un estudio sistemático en las diferentes cuencas de la Puna, analizando el tipo y composición de las arcillas formadas durante el intervalo del Neógeno de los Andes Centrales.

El método más habitual de extracción de Li en el país es la evaporación solar de las salmueras en piletas de grandes dimensiones y escasa profundidad. Aunque los costos de procesamiento son bajos, esta técnica tiene potenciales desventajas, ya que es un proceso lento, depende de las condiciones climáticas y tiene una eficiencia de extracción intermedia para obtener un concentrado de evaporación. Existe otro proceso, donde se emplean membranas de absorción selectivas de Li, que generan menos residuos, pero requieren reactivos químicos y equipos específicos, es por consiguiente una operación más costosa.

También, se reconocen silicatos y fosfatos como minerales de litio en pegmatitas del tipo LCT, las cuales se emplazan en una faja sub-meridional conocida como Provincia Pegmatítica Pampeana (desde San Luis-Córdoba hasta Salta), con concentraciones de interés, a nivel distrital, en las sierras de San Luis – La Estanzuela (provincia de San Luis) y Ancasti-Ambato (provincia de Catamarca). Para estos distritos se conocen estimaciones relativas de recursos de litio, con diferente detalle, y sería oportuno y necesario que organismos e instituciones nacionales y provinciales específicas, desarrollen planes tendientes a establecer los recursos y reservas para esta Provincia Pegmatítica. Asimismo, en aquellos sectores más promisorios se

debería acompañar los resultados económicos con una línea de base ambiental de estas áreas. La Estadística Minera R.A., para el intervalo 1940-1980, indica que de las pegmatitas se obtuvieron 8700 ton con leyes entre 4,5 y 6% de  $\text{Li}_2\text{O}$ , siendo la provincia de San Luis la que proveyó 5000 ton de este total nacional.

Estos trabajos de evaluación de impactos ambientales (EIA) se deberían ampliar y extender al ambiente de los salares del NOA, pues en la actualidad son realizados, como fija la legislación, por las distintas empresas privadas que están explorando y/o extrayendo el recurso. Esta situación genera en ocasiones dudas y discusiones acerca de la información resultante. Pensamos que si fuesen realizadas por organismos técnicos específicos del ámbito estatal (incluyendo Universidades) sería una información más aceptada, que redundaría positivamente en la exploración y/o explotación del recurso.

Para este año 2020, se debe considerar la actual caída del PIB global, estimada en el orden del 5,2% según el Banco Mundial, como consecuencia del alto impacto de la Pandemia COVID-19, con efectos aún inciertos. Frente a esta situación, la industria minera deberá ejecutar políticas eficaces para sostener su desarrollo y enfrentar las posibles desvalorizaciones de commodities y la disminución de las operaciones comerciales.

## Referencias

- [1] R. N. Alonso, "Los salares de la Puna y sus recursos evaporíticos". Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. Zappettini). SEGEMAR, Anales 35, 1999, pp. 1907-1921.
- [2] R. N. Alonso, "Litio el metal de los Salares Andinos". Mundo Editorial Distribuidora de Libros de Salta, ISBN 978-987-698-210-8, pp. 120. 2018.
- [3] R. N. Alonso, J. Viramonte, "Geología y Metalogenia de la Puna". Estudios Geológicos, vol. 43, pp. 393-407, 1987.
- [4] V. Angelelli, "Yacimientos Metalíferos de la República Argentina". CIC Provincia de Buenos Aires, tomos I y II, La Plata. 1984. pp. 704.
- [5] V. Angelelli, C. A. Rinaldi, "Yacimientos de Minerales de Litio de las Provincias de San Luis y Córdoba". CNEA, Informe 91, Buenos Aires. 1963. pp. 80.
- [6] Banco Interamericano de Desarrollo (BID), "Litio en la Argentina. Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la Cadena de Valor". Por López A., Obaya M., Pascuini P., Ramos A., SCTeIP – BID, pp. 162. 2019.
- [7] C. Barría (2019, junio). "El triángulo del litio: 3 obstáculos que enfrentan Argentina, Bolivia y Chile para escapar de la "maldición de los recursos naturales". BBC News Mundo. [Online].
- [8] T. R. Benson, M. A. Coble, J. Rytuba, G. A. Mahood, "Lithium enrichment in intracontinental rhyolite magmas leads to Li deposits in caldera basins". Nature Communications vol. 8, doi: 10.1038/s41467-017-00234-y. 2017.
- [9] R. J. Bowell, L. Lagos, C. de los Hoyos, J. Declercq, "Classification and characteristics of natural Lithium resources". Elements, vol. 16, pp. 259-264, 2020.
- [10] L. R. Catalano, "Geología de los yacimientos de boratos y materiales de las cuencas. Salar de Cauchari. Puna de Atacama". Dirección General de Minas, Geología e Hidrología. Publicación no. 23, Buenos Aires. 1926. 110 pp.
- [11] L. R. Catalano, "Reseña geológica preliminar de la Puna de Atacama, territorio Nacional de Los Andes". Revista Minera vol. 2, (9): pp. 270-286 y (10): pp. 289-305. 1930.
- [12] L. R. Catalano, "Estudio geológico-económico del salar del Hombre Muerto. Secretaría de Minería". Serie argentina no. 4, pp. 1-133. 1964.
- [13] P. Cerný, T. S. Ercit, "The classification of granitic pegmatites revisited". Canadian Mineralogist vol. 43, pp. 2005-2026. 2005.
- [14] P. K. Choubey, M. Kim, R. Srivastava, J. Lee, Y. Lee, Advance review on the exploitation of the prominent energy storage element: lithium". Part I: from mineral and brine resources. Minerals Engineering, vol. 89, pp. 119-137. 2016.
- [15] M. de la Hoz, V. Martínez, J. L. Vedia, "El litio de los salares de la Puna a nuestros celulares". Rev. BGNoa, no. 66, vol. 3, pp. 58-67. 2013.
- [16] K. Evans, "Lithium". En Gunn G. (ed.), Critical Metals Handbook. American Geophysical Union, pp. 230-260. 2014.
- [17] Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN),

"Extracción de Litio en Argentina: un estudio de caso sobre los impactos sociales y ambientales". Por P. Marehegiani; J. Höglund Hellgren y L. Gómez, 2019, pp. 53.

[18] M. A. Galliski, "La Provincia Pegmatítica Pampeana: tipología y distribución de sus depósitos económicos". Revista de la Asociación Geológica Argentina, vol. 49 (1-2), pp. 99-112. 1994 a.

[19] M. A. Galliski, "La Provincia Pegmatítica Pampeana: metalogenia de sus depósitos económicos". Revista de la Asociación Geológica Argentina, vol. 49 (1-2), pp.113-122. 1994 b.

[20] M. A. Galliski, "Depósitos Pegmatíticos, Pampia: Proterozoico superior-Cámbrico inferior, Arco Magmático y Pampia-Antofalla-Arequipa: Cámbrico-Silúrico: Arco Magmático Famatiniano". Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35, Buenos Aires. 1999. pp. 347-368 y 389-414.

[21] M. A. Galliski, D. London, M. Novák, R. Martin, "Granitic pegmatites and their minerals: a tribute to Petr Cerný". Canadian Mineralogist, vol. 50, pp. 777-780. 2012.

[22] A. P. Igarzábal, R. N. Alonso, "Origen del Boro y Litio". IV Jorn. Argentinas de Ingeniería de Minas, vol.1, pp. 35-55. 1990.

[23] Lithium Nevada a Lithium Americas Company, "Lithium Americas finalizes agreements for mine design, engineering, construction, equipment and reclamation services for Thracker Pass". Newsletter. 2019. [Online].

[24] V. Lombardi (2017, junio), "Por un litio Sustentable". Public. TSS, UN de San Martín. [Online].

[25] R. L. López Steinmetz, S. Salvi, M. G. García, Y. Peralta Arnold, D. Bezial, M. G. Franco, O. Contastini, F. Córdoba, P. J. Caffè, "Northern Puna scale asumed of brine deposits in the Andes of NW Argentina". Journal of Geochemical Exploration, vol. 180, pp. 26-38. 2018.

[26] S. Muessig, "Turi Lari, a borax crystal playa deposit in Argentina". Geol. Soc. of Amer. Bull., vol. 69, pp. 1696-1697. 1958.

[27] L.A. Munk, S. Hynneck, D. Bradley, D. Boutt, K. Labay, H. Jochens, "Lithium brines: a global perspective". Economic. Geology Review, vol. 18, pp. 339-365. 2016.

[28] H. B. Nicolli, J. Suriano, J. Kimsa, A. Brodtkorb, "Características geoquímicas generales en aguas y

salmueras de la Puna Argentina". Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Misceláneas 63, pp. 38. 1980.

[29] H. B. Nicolli, J. Suriano, V. Mendez, M. Gómez, "Salmueras ricas en metales alcalinos del Salar del Hombre Muerto, Catamarca, Argentina". 5to. Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 3, Buenos Aires. 1982. pp. 187-204.

[30] Nueva Sociedad (2013, marzo-abril), "El proyecto estatal del litio en Bolivia. Expectativas, desafíos y dilemas". Tema Central, NUSO no. 244. [Online].

[31] Panorama Minero, Enfoques: "Litio: tendencias de Mercado y hacia dónde se dirige la Argentina", Revista Panorama Minero no. 484, pp. 18-27, 2020.

[32] Roskill Information Services Ltd. (2013), "Litio: Perspectiva Comercial hasta 2017", Edición 12. [Online].

[33] I. Schalamuk, R. Fernández, R. Etcheverry, "Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA". Anales XX, Subsecretaría de Minería, Ministerio de Economía. Buenos Aires. 1983.

[34] Statista (2020), "Ranking de los principales países productores de litio a nivel mundial en 2019". [Online].

[35] U.S. Geological Survey, "Mineral Commodity Summaries 2019". U.S. Geological Survey, Reston, pp. 98-99. 2020.

[36] J. Viramonte, R. Alonso, R. Gutiérrez, R. Argañaraz, "Génesis del litio en los salares de la Puna argentina". 9º Congreso Geológico Argentino, Actas 3, Bariloche. 1984. pp. 471-481.

