



REPORTE DE INVESTIGACIÓN

Informe sobre el litio y su importancia estratégica en la transición energética y en el contexto geopolítico actual.

Dr. Alejandro de la Paz Toledo

No. 863 “La Mundialización Financiera”

Línea de Generación y/o Aplicación de Conocimiento.

- Economía Internacional
- Estado, gobierno y políticas públicas

Octubre de 2023.

Reporte de Investigación

INFORME SOBRE EL LITIO Y SU IMPORTANCIA ESTRATÉGICA EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y EN EL CONTEXTO GEOPOLÍTICO ACTUAL

Autor: Dr. Alejandro De la Paz Toledo.

Presentación.

Con este reporte de Investigación se concluyen la etapa 1 del proyecto de investigación que tiene como tema central la Economía Internacional y diversas líneas de generación y aplicación del conocimiento, entre las que se encuentran la organización productiva y económica, los negocios internacionales, los mercados e instituciones financieras, el sistema financiero nacional e internacional y el Estado, gobierno y políticas públicas que, por cuestiones burocráticas, aún no se registra, pero en el que se ha estado trabajando durante el periodo sabático con el objetivo de ponerlo a consideración del Consejo Divisional próximamente. Dicha etapa ha consistido en la investigación bibliográfica, dirigida a conformar el marco teórico: teoría general y teoría sustantiva", si bien, se sigue haciendo revisión bibliográfica de forma permanente, se puede dar por terminada la Etapa 1.

De dicha etapa ha resultado el documento titulado "Informe sobre el litio y su importancia estratégica en la transición energética y en el contexto geopolítico actual", cuyo objetivo es presentar algunos elementos de juicio que permitan comprender qué es el litio, en dónde radica su importancia estratégica y geoestratégica en la reorganización del sistema productivo y si representa una nueva oportunidad para que México pueda trazar una estrategia de desarrollo económico que tenga como base el conocimiento y la cualificación de los trabajadores, no la mano de obra barata.

Ello con la finalidad de comprender el papel de México en la renovada competencia de las potencias económicas por el control de los recursos naturales y la estrategia de desarrollo a implementar a partir de la dotación de litio con la que cuenta el país, así como el papel del país en el nuevo contexto económico internacional.

Dr. Alfredo Garibay Suárez
Jefe del Departamento de Administración.



Presentación

El relativo agotamiento de los combustibles fósiles baratos, el problema del cambio climático y la necesidad de transitar hacia fuentes de energía más baratas y limpias han adquirido un papel protagónico en los procesos de reorganización del sistema productivo internacional y los esfuerzos de búsqueda nuevos espacios para mantener el proceso de reproducción ampliada del capital y las tasas de ganancia.

Ello ha llevado a las potencias económicas a emprender, desde hace ya varios años, a renovar la competencia por el control de los recursos naturales, tanto de los hidrocarburos fósiles, como de todos aquellos que les permitan obtener alguna ventaja competitiva en ese proceso de transición energética y de búsqueda de nuevos espacios. En esa renovada competencia, al litio se le ha otorgado un papel estratégico, equiparable al que desempeñaron el carbón y, sobre todo, el petróleo en el proceso de industrialización y crecimiento económico de los siglos XIX y XX.

Así, el objetivo de este documento es presentar algunos elementos de juicio que permitan comprender qué es el litio, en dónde radica su importancia estratégica y geoestratégica en la reorganización del sistema productivo y si representa una nueva oportunidad para que México pueda trazar una estrategia de desarrollo económico que tenga como base el conocimiento y la cualificación de los trabajadores, no la mano de obra barata.

El documento, titulado "Informe sobre el litio y su importancia estratégica en la transición energética y en el contexto geopolítico actual" forma parte de un proyecto de investigación que tiene como tema central la Economía Internacional y diversas líneas de generación y aplicación del conocimiento, entre las que se encuentran la organización productiva y económica, los negocios internacionales, los mercados e instituciones financieras, el sistema financiero nacional e internacional y el Estado, gobierno y políticas públicas que, por cuestiones burocráticas, aún no se registra, pero en el que se ha estado trabajando durante el periodo sabático con el objetivo de ponerlo a consideración del Consejo Divisional próximamente.

Atentamente,

Dr. Alejandro de la Paz Toledo
Profesor-Investigador de tiempo completo adscrito al
Departamento de Administración

Resumen

Este documento presenta algunos elementos que permiten comprender qué es el litio, cuáles son sus propiedades y por qué se le considera como un elemento estratégico en el contexto de relativa escasez de combustibles fósiles, de cambio climático y de renovada competencia entre las potencias económicas -especialmente Estados Unidos y China- por el control de los recursos naturales de los países en desarrollo. Se abordan también los determinantes de la demanda mundial de litio, el estado de la oferta mundial de éste y la posición de México en cuanto a tenencia de recursos y reservas de este mineral, denominado como el "petróleo blanco", por su importancia para los procesos de transición energética y reorganización de los procesos productivos.

Palabras clave: litio; transición energética, yacimientos, relaciones económicas y políticas internacionales.

Summary

This paper presents some elements that allow us to understand what lithium is, what its properties are and why it is considered a strategic element in the context of relative scarcity of fossil fuels, climate change and renewed competition between economic powers -especially the United States and China- for the control of natural resources in developing countries. It also addresses the determinants of the global demand for lithium, the state of the world's lithium supply and Mexico's position in terms of resources and reserves of this mineral, known as the "white oil", due to its importance for the processes of energy transition and reorganisation of production processes.

Keywords: lithium; energy transition, deposits, international economic and political relations.

INFORME SOBRE EL LITIO Y SU IMPORTANCIA ESTRATÉGICA EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y EN EL CONTEXTO GEOPOLÍTICO ACTUAL

Por Alejandro de la Paz Toledo

Introducción

En los últimos años dos problemas recurrentes, y cada vez más urgentes, se han presentado en la economía internacional: la escasez de combustibles fósiles baratos y el cambio climático, que se ha convertido en un problema sistémico con profundas implicaciones económicas, sociales y políticas. El esfuerzo por contrarrestarlos ha llevado a las potencias económicas a avanzar en la competencia por avanzar en la transición hacia fuentes de energía más baratas y, sobre todo, a competir por el control de los recursos naturales que hacen posible esa transición.

Entre recursos se encuentra el litio, mineral metálico clave al cual se le ha asignado un papel clave en la transición energética y en la lucha contra el cambio climático y del que México cuenta con importantes yacimientos que el presidente Andrés Manuel López Obrador decidió declarar como de interés estratégico y, a partir de ello, reservar para el Estado la exploración, extracción y explotación.

Este informe lo que se propone es proporcionar información que permita entender qué es litio, qué usos tiene y por qué se le ha otorgado un carácter estratégico, los tipos de yacimientos que existen y su importancia para el desempeño de la economía internacional, así como del papel que puede jugar México en ese contexto de competencia entre potencias por el control de los recursos naturales.

1. Litio. Propiedades y usos

El litio es un elemento químico que se puede encontrar en la naturaleza, bajo la forma de sales o minerales y que se caracteriza por su color blanco – plata. Es un metal alcalino, por lo que se caracteriza por su elevada reactividad al oxígeno, por ser blando, liviano y un buen conductor del calor y la electricidad. Pero incluso entre el grupo de metales alcalinos, el litio se distingue por sus propiedades físicas y químicas (Jeppson, Ballif, Yuan y Chou; 1978, 7 – 42):

- Dureza de 0.6 en escala de Mohr.
- Elevada capacidad de absorber la humedad (higroscopicidad).
- A 0° C tiene un peso (densidad) ¹ de 0.534 g/cm³, lo que lo hace más ligero que el agua.
- Alta capacidad calorífica: de 0.784 calorías/gramo (Joules por gramo Kelvin)².
- Punto de fusión es de 180.5° C
- Conductividad térmica³ (λ) de 84.7 W/mK (vatios por metro Kelvin).
- Alto potencial de ionización (conversión de los átomos en moléculas cargadas eléctricamente).

Es decir, que el litio es el metal más liviano de todos, pero es maleable y muy resistente (más que el carbón y otros metales), es fácil de fundir, en el sentido de

¹ La densidad (ρ) se refiere a la relación entre la masa y el volumen que ocupa un cuerpo. Su fórmula es: $\rho = \frac{g}{cm^3}$. La densidad depende de factores como el tipo de átomos y el grado de compactación entre átomos y moléculas. A su vez, el grado de compactación está en función de la temperatura. A mayor calor, mayor densidad, por la dilatación de los cuerpos; a menos temperatura, menor densidad. La densidad del agua depende de la cantidad de sustancias disueltas en ella, pero, en general, se considera que su densidad es de 1 g/cm³.

² La capacidad calorífica se refiere a la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura de una sustancia en un grado. El litio

³ La conductividad térmica se refiere a la capacidad de una sustancia de transferir calor.

que no requiere las elevadas temperaturas de otros metales y, sobre todo, es capaz de recibir, almacenar y transferir una gran cantidad de energía. Es esto último lo que ha otorgado al litio un carácter estratégico.

2. Usos y demanda de litio

Aunque el litio fue descubierto en 1817, por Johan August Arfwedson, comenzó a tener uso comercial sólo hasta 1923, cuando la empresa alemana Metallgesellschaft AG empezó a producir cloruro de litio. Desde entonces, sus propiedades han sido aprovechadas por diversos sectores industriales para mejorar la calidad de sus procesos y sus productos (Kavanag, Keohane et. al; 2018):

Gracias a su bajo punto de fusión y su dureza, el litio ha sido utilizado en un elemento importante para las industrias de cerámica y vidrio, para los sistemas de refrigeración y la metalurgia. Agregar litio al proceso de producción en su forma metálica o algunos de sus compuestos permite reducir la temperatura a la cual se funden el vidrio y los metales, reducir su viscosidad y aumentar la resistencia tanto de vidrio, cerámica, lentes para microscopios y de las aleaciones y mejorar la eficiencia energética en el proceso de producción, lo que disminuye costos.

Su capacidad de absorber la humedad (higroscopicidad) le permite absorber fungir como desecante, eliminar gases potencialmente tóxicos en los procesos de fundición y aumentar y generar sistemas de refrigeración eficientes, lubricantes impermeables y duraderos. En sistemas cerrados, como submarinos y estaciones espaciales, permite eliminar el dióxido de carbono generado por las exhalaciones de los ocupantes y liberar oxígeno.

También es un elemento fundamental para el cerebro. En la medicina y la industria se ha utilizado en una amplia variedad de medicamentos para controlar las tendencias maniaco-depresivas, la esquizofrenia y estabilizar el ánimo. Pero también se utiliza en suplementos de vitamina A, en algunos analgésicos para dolores de cabeza, en antihistamínicos, inductores del sueño, contraceptivos y agentes anti-colesterol. Y se estudian los efectos del litio sobre la alimentación y el Alzheimer (Forlenza et. al., 2012).

Se utiliza también como catalizador en la producción del hules y plásticos, como purificador de agua y en algunas aleaciones para mejorar su razón fuerza/peso.

Un uso alternativo para el litio es el nuclear. Naturalmente existen dos isótopos (tipos de átomos) de litio: ${}^6\text{Li}$ al ${}^7\text{Li}$. El primero actúa como absorbedor de neutrones (partículas de carga positiva) y el segundo como refrigerante de fluoruro de litio enriquecido. Ambos pueden procesarse para producir tritio, que es un elemento fundamental para los procesos de fusión nuclear. De hecho, la primera reacción nuclear artificial fue inducida por Mark Oliphant, en 1932, a partir ${}^7\text{Li}$. Fue la base para la bomba atómica lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki en 1945.

Sin embargo, el tritio también se utiliza para la generación de energía a partir de la fusión nuclear. La primera planta de energía nuclear se instaló en Estados Unidos en 1946, aunque esta forma de energía comenzó a desarrollarse los años de 1970 como respuesta a la crisis del petróleo, si bien sólo ganó fuerza en la década de 1990 en algunos países europeos, como Alemania y Francia. El impulso tuvo como base el hecho que la energía nuclear no depende del hidrocarburo, que era un aspecto muy importante para los países europeos luego de la crisis petrolera de los años setenta. Además, es una fuente de energía limpia y muy eficiente. Según

Heinz Riesenhuber, “la fusión de un gramo de la mezcla de D-T libera tanta energía como la combustión de 10 000 litros de gasolina” (Banner y Haubenreich, 1991; 18).

Mas, a raíz de la fuga de material radiactivo en 2011 en Fukushima, Japón, varios países se replantearon la idoneidad de mantener sus centrales nucleares en funcionamiento y optaron por cerrarlas, por lo que actualmente la demanda de tritio no es significativa. Pero es posible que esa tendencia cambie en los años siguientes. Porque ante la crisis energética que se vive en Europa, Francia ha optado por incrementar el consumo de energía nuclear, poniendo sobre la mesa, nuevamente, el uso de ésta como una fuente limpia y eficiente. También porque el tritio es un isótopo que puede utilizarse también como escudo contra radiaciones y como medio de transferencia de calor (litio-líquido) (Dirección General de Desarrollo Minero, 2018; 22).

Pese a todos sus usos, reales y potenciales, el litio no era considerado un material estratégico para la industria. En ningún sector. Era un complemento para el cual existen sustitutos cercanos. El litio sólo adquirió importancia, a partir de 1990, por el desarrollo de las telecomunicaciones, que hicieron indispensable contar con fuentes de alimentación energética capaces de dotar a los dispositivos de autonomía, de potencia, de movilidad y durabilidad. Ese papel lo cumplieron las baterías recargables de ión-litio.

Las baterías recargables existían desde 1859. La primera fue desarrollada por Gaston Planté para su automóvil eléctrico. Funcionaba mediante un compuesto de plomo-ácido. A finales del siglo XIX y principios del XX surgieron las níquel-cadmio (desarrollada por Thomas Alba Edison) y las de níquel-hierro (de Ernst Waldemar Jungner). Fueron parte de la inspiración para que Gilbert Newton Lewis comenzará, en 1912) a desarrollar una batería recargable que aprovecha las propiedades del

metal: que es de fácil de ionizar, que cuenta con una medida de energía por unidad de carga de 3.04V, que es superior a la de otros elementos, que es liviano y maleable.

Los primeros intentos fueron infructuosos. Las baterías desarrolladas no solo no eran recargables, eran muy inseguras, porque el metal de litio podía provocar cortos circuitos o explosiones. Fue hasta 1973 que Michael Stanley optó por emplear un compuesto de litio en el cátodo de la batería, igual que en el electrolito. La batería fue adecuada para instrumentos pequeños, pero tampoco era recargable (Tarascon y Armand, 2001)

Ésta fue desarrollada por John Bannister Goodenough, que optó por sustituir el litio en su forma metálica por su forma iónica. A partir de ello, Akira Yoshino creó la primera batería comercial de ión-litio, comercializada por Sony a partir de 1991, y utilizada inicialmente en la telefonía celular. Es decir, las baterías de ión-litio, tal como las conocemos, fueron desarrolladas para dispositivos móviles.

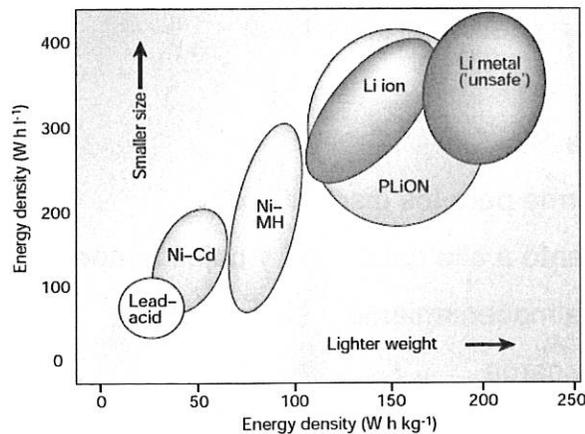
Pero, además de las ventajas del diseño, según Kavanagh, Keohane, et. al. (2018; 16) las baterías de ión-litio (BIL) ofrecen:

- Mayor densidad energética (gráfica 1)
- Menor peso y volumen.
- Vida útil más larga
- Desempeño uniforme para los dispositivos
- Mejor funcionamiento a alta capacidad y bajas temperaturas
- Mayor tiempo de almacenamiento de la energía
- Menor tasa de descarga

La eficiencia de estas baterías es la razón por la que se ha otorgado al litio un carácter estratégico. El desarrollo tecnológico que supuso la creación de baterías recargables de ión-litio ofreció la posibilidad de realizar la transición estratégica, que ha adquirido un carácter urgente en los últimos años, por razones ecológicas y económicas.

Los motivos ecológicos tienen que ver con el hecho de que la intensa emisión de gases de efecto invernadero ha provocado un aumento en la temperatura promedio del planeta de más de 1° C. Ese aumento, que podría parecer inocuo, ha provocado alteraciones notables en los patrones climáticos que se traducen en inviernos más fríos y prolongados, sequías o lluvias extremas en diversas regiones del mundo, un aumento en el nivel del mar por descongelamiento de los polos o, incluso, en el “floreCIMIENTO” de los desiertos. Estos fenómenos impactan sobre “las sociedades y las economías en formas no lineales e impredecibles” (Aglietta y Espagne, 2018; 3), pero generalmente negativas sobre la forma y medio de vida de las sociedades, la estabilidad de éstas y las finanzas de los agentes económicos de todo el mundo (Aglietta y Espagne, 2018; y Lo Vuolo, 2014).

Gráfica 1. Comparación de las diferentes tecnologías de baterías en términos de densidad de energía volumétrica y gravimétrica



Fuente: Tarascon, J. M. y Armand, M.; 2001; 359 p.

Sólo eso justificaría el esfuerzo de transición energética, pero a esos problemas hay que sumar el agotamiento de los combustibles fósiles. Concretamente, el agotamiento del petróleo.

No es que hidrocarburo, como tal, se esté acabando. Para algunos académicos y analistas, la posibilidad de que ello ocurra es inexistente (Linares, 2015). Pero lo que sí se está agotando es el petróleo convencional,⁴ el de “fácil” acceso. Desde 2016 ya había 50 países que habían agotado este tipo de yacimientos. El incremento de la producción petrolera se debe a la sobreexplotación de los pozos ya existentes y a los esfuerzos de extracción del hidrocarburo de aguas profundas, de los polos o de esquistos.⁵ Esto supone no sólo petróleo de peor calidad, sino mayores costos de extracción y refinación, mayores costos ambientales y una tasa de retorno energético (TRE) menor,⁶ porque hay que emplear mayores recursos energéticos y de todo tipo para poder extraerlo (Prieto, 2017; 12).

⁴ El petróleo convencional es en el que las características del yacimiento y fluidos de éste permiten que el hidrocarburo fluya con facilidad hacia el interior de los pozos. El término se utiliza para señalar la diferencia con respecto a los yacimientos de lutita u otros yacimientos no convencionales (Schlumberger Oilfield Glossary en Español: https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/c/conventional_reservoir)

⁵ Los esquistos son un grupo de rocas caracterizados por la preponderancia de minerales laminares que favorecen su fragmentación en capas delgadas. El petróleo se extrae de un tipo particular denominado lutita, que se caracteriza por alojar en sus poros materia orgánica a partir de la cual se puede extraer gas o petróleo. (Schlumberger Oilfield Dictionary en Español: <https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/s/shale>).

⁶ La tasa de retorno energético se refiere al cociente de la cantidad de energía total que es capaz de producir una fuente de energía y la cantidad de energía que es necesario emplear o aportar para explotar ese recurso energético. Es decir: $TRE = \frac{E_{total\ fuente}}{E_{invertida}}$, donde E = energía.

Un cociente menor que 1 indica que la energía invertida es mayor a la obtenida; un cociente mayor que 1 indica que la energía que se obtiene es mayor a la que se invierte y, por lo tanto, hay un saldo positivo.

Es decir, las economías deben enfrentar el doble problema del encarecimiento de la energía por el incremento en los costos de producción, y la probabilidad real de que la oferta de combustibles sea insuficiente para mantener los niveles de producción y consumo y, por lo tanto, los niveles de crecimiento económico en el mediano y largo plazos.

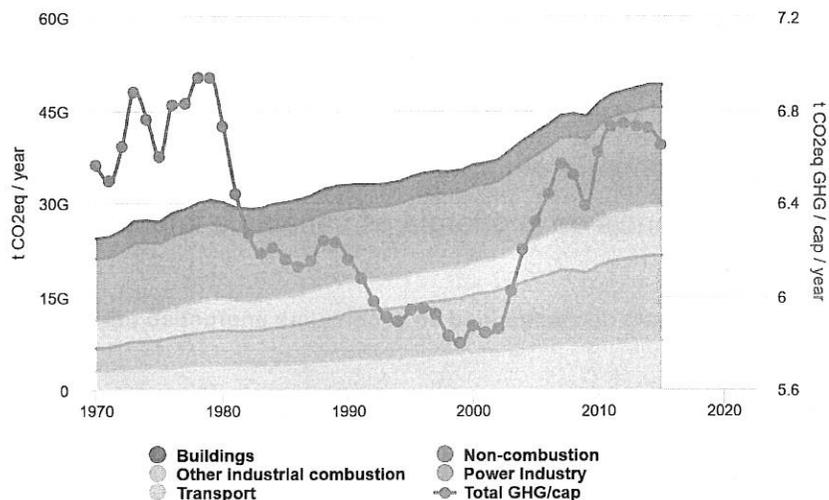
La primera crisis del petróleo en 1973 es una muestra del tipo de crisis que podría generar la escasez del hidrocarburo, la falta de fuentes alternativas de energía y, sobre todo, la dependencia energética del exterior. Entonces fue una crisis derivada de la decisión de los gobiernos que contaban con vastas reservas del hidrocarburo de recortar la producción; era relativamente fácil de resolver. De entonces a ahora, la situación ha cambiado notablemente.

Por ello, algunas economías han optado por recurrir al carbón o al gas para paliar los efectos derivados del gradual agotamiento del petróleo. Pero también se trata de recursos no renovables, escasos y bajo el control de un pequeño grupo de países que los poseen en abundancia como parte de su riqueza natural. Lo que deja a los países no poseedores de hidrocarburos en una situación de vulnerabilidad, independientemente de su nivel de desarrollo y no resuelve el problema de la emisión de gases contaminantes.

En ese contexto, la solución que se ha planteado, desde hace varios años y en distintos foros internacionales, es el transitar hacia un nuevo modelo energético, basado en energías renovables y limpias, limitando o erradicando el consumo de combustibles fósiles. El objetivo es solucionar el problema ecológico y que las economías garanticen la disponibilidad de la energía que requieren para satisfacer las demandas de la industria y de los hogares; para mantener el crecimiento económico.

En esa vía de solución, la energía eléctrica ha cobrado un gran protagonismo, por dos razones. La primera es que el sector eléctrico es el segundo más contaminante, como se puede apreciar en la gráfica 2, debido a que, a nivel mundial, más del 65% de esta energía se genera a partir de la quema de petróleo, carbón o gas, según el Banco Mundial.

Gráfica 2. Emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por sector, 1970 -2015 (En toneladas equivalentes de dióxido de carbono)



Fuente: Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR).

La segunda razón, y tal vez la más importante, es que la energía eléctrica es la que puede generarse a partir de elementos como el sol, el viento, el agua, el mar, o el calor de la Tierra, que son renovables, que no emiten gases de efecto invernadero y, sobre todo, que están disponibles para la totalidad de los países, en mayor o menor medida, según su posición geográfica. Por lo tanto, la energía eléctrica puede contribuir a solucionar el problema de la dependencia energética y de la contaminación. Incluso, el del acceso a la energía, ya que algunas, como el sol o el viento, son relativamente baratas.

El otro gran problema de las energías renovables es el almacenamiento. Los sistemas de reserva resultaban costosos, con poca capacidad y con ciclos de carga y descarga limitados que los inutilizan en periodos muy breves para los montos de inversión que requieren. (Prieto, 2017; 13).

**Cuadro 1. Densidad energética por tipo de combustible
(en megajoules por kilogramo)**

Combustible	Densidad energética ^{1/} (MJ/kg)	Tipo de reacción
Madera	16	Química
Carbón	24	
Etanol	26.8	
Biodiesel	38	
Petróleo (crudo)	44	
Derivados del petróleo:		
Diesel	45	
Gasolina	46	
Gas natural	55	
Uranio-235	3,900,000	Nuclear

Fuente: Hore-Lacy (2011), p. 9.

^{1/} La densidad energética se refiere a la cantidad de energía acumulada o contenida en una unidad de combustible.

Las BIL, sin embargo, ofrecen la posibilidad de resolver los dos problemas de las energías renovables. Pueden captar y almacenar la energía renovable, lo que permite avanzar en la transición energética adaptando diversos dispositivos y estructuras para que funcionen con electricidad limpia.

Desde que se comercializaran por primera vez en 1991, las BIL se han desarrollado y diversificado para atender las exigencias derivadas de los avances tecnológicos en dispositivos electrónicos, que requerían mayor rendimiento, vida útil, seguridad y potencia (cuadro 2), pero también en sistemas de almacenamiento de energía y la industria automotriz.

Las baterías para sistemas de almacenamiento de energía aún están en evolución, pero permiten no sólo gestionar la demanda de energía en hora punta, sino también regular la frecuencia para evitar variaciones bruscas en la corriente de energía. A pesar de ello, es un mercado que está en evolución y se espera que crezca conforme avance la transición energética. El sector automotriz, por otra parte, es el que impulsa la demanda de litio y de baterías de litio.

Cuadro 2. Tipos de baterías de ión-litio

Tipo	Cátodo	Anódo	Densidad energética (Wh/kg) ^{1/}	Observaciones
NCA	Óxido de Litio Níquel Cobalto Aluminio (LiNiCoAlO ₂)	Grafito	200-250	Alta energía Buena vida útil Trenes de energía eléctrica e industria automotriz
NMC	Óxido de Litio Níquel Manganeso Cobalto (LiNiMnCoO ₂)	Grafito	140-200	Alta densidad de energía específica o una alta potencia específica Baja tasa de autocalentamiento
LCO	Óxido de Litio Cobalto (LiCoO ₂)	Grafito	150-200	Muy alta energía específica Duración relativamente corta y una potencia específica limitada Menos seguras que otras baterías Telefonía y dispositivos electrónicos
LMO	Óxido de Litio Manganeso (LiMn ₂ O ₄)	Grafito	100-140	Estabilidad a altas temperaturas Mayor seguridad Mejores para dispositivos médicos, herramientas eléctricas, bicicletas, ordenadores y automóviles.
LFP	Óxido de Litio Fierro Fosfato (LiFePO ₄)	Grafito	90-140	Mejor seguridad Estabilidad térmica Durabilidad y un largo ciclo de vida. Motocicletas y autos eléctricos
LTO	Óxido de Litio-Titanio (Li ₂ TiO ₃)	Nano-estructurado de litio-titanato	60-88	Carga rápida Mayor densidad energética Sistemas de almacenamiento para energías renovables (energía eólica) y redes inteligentes Usos militares y aeroespacial.

^{1/} Un Watt-hora (Wh) es una unidad de energía; es una forma de medir la cantidad de trabajo generado o realizado. Un kilowatt-hora (kWh), que equivale a 1000 Watts-hora

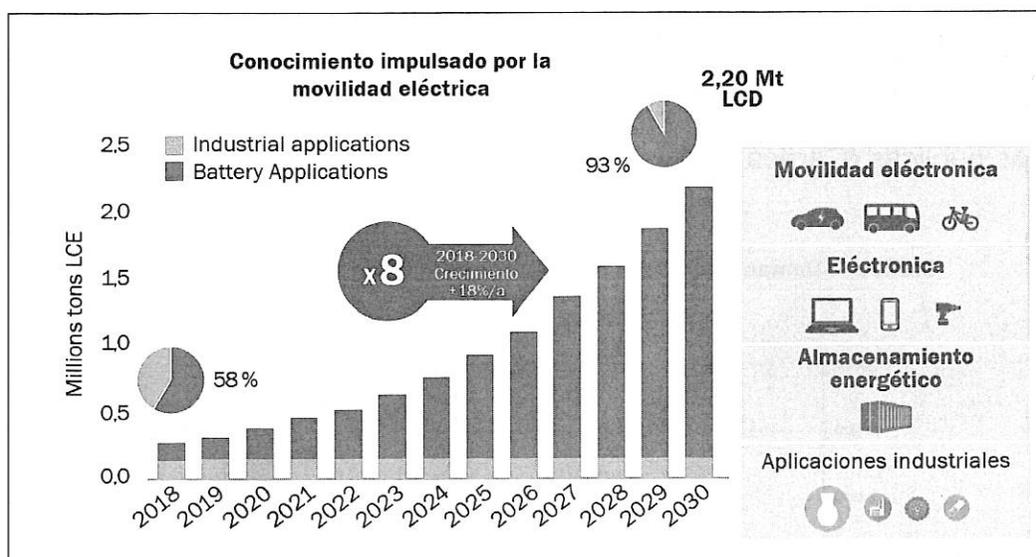
Fuente: RCU Consulting y Padrón-Jabib (2013).

Desde hace más de una década, la industria automotriz ha desarrollado vehículos eléctricos, eléctricos híbridos e híbridos enchufables, pero la penetración de mercado ha sido lenta, debido al costo de los automóviles y a que no ofrecían la potencia y autonomía de los automóviles tradicionales. Sin embargo, a mejora de las BIL y las políticas implementadas por los gobiernos de China y algunos países de Europa han impulsado el mercado de vehículos eléctricos mediante la concesión

de estímulos fiscales y el establecimiento de cuotas en la producción de autos eléctricos. En el caso de la Unión Europea, además, se ha establecido como meta la eliminación de los automóviles de combustión interna para 2035.

Debido a ello, se espera que el segmento de baterías para automóviles sea el que mayor crecimiento experimente en los años siguientes, aumentando la demanda de las 360 toneladas (kt)⁷ de carbonato de litio equivalente (LCE)⁸ que se consumen actualmente, a casi 2,000 kt de LCE para 2030 (gráfica 3), de las cuáles se espera 93% se destine a la producción de baterías.

Gráfica 3 Millones de toneladas de necesidad de litio estimadas



Fuente: Canaccord Genuity Lithium.

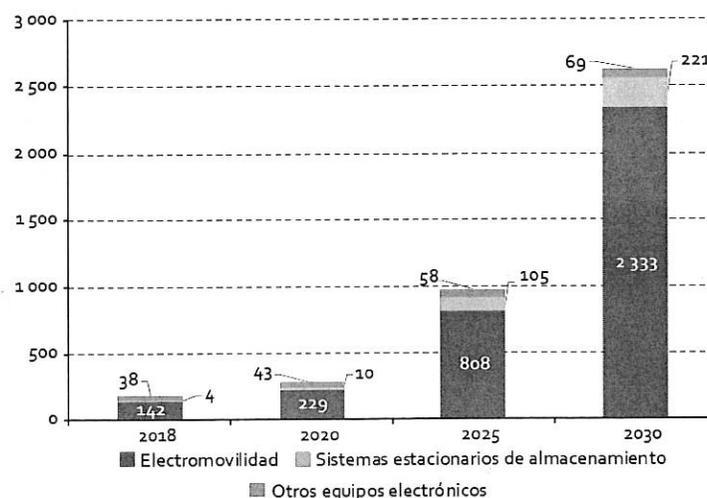
⁷ Una kilotonelada métrica es igual a 1,000 toneladas o 1,000,000 de kilogramos.

⁸ El principal compuesto del litio es carbonato de litio (Li_2CO_3). Incluso es la materia prima básica para la obtención de otros compuestos. Por ello, las unidades de litio se expresan en carbonato de litio equivalente a metal de litio. De esa forma, la información es consistente y comparable.

De acuerdo con los datos de Obaya y Céspedes (2020), la demanda mundial de energía eléctrica almacenada en baterías pasará de 184 gigavatios-hora (GWh)⁹ en 2018 -de los cuales 77% fueron para la electromovilidad (vehículos, autobuses, metro y trenes, bicicletas), 2,2% para sistemas de almacenamiento de energía y el resto para dispositivos móviles y 20.6% para dispositivos electrónicos diversos- a 2,623 GWh en 2030, de los cuales el 89% será para baterías para la electromovilidad, 8.4% para almacenamiento de energía y 2.6% para dispositivos móviles (gráfica 4)

Es decir, la demanda de litio, efectivamente, responde a una necesidad social y ambiental y a una demanda del mercado, pero lo estratégico no está en disponer del metal como recurso explotable, sino en obtener el conocimiento para construir las baterías. Para ello es fundamental la articulación entre industria, ciencia y políticas públicas (Carricá, 2018; 7).

**Gráfica 4. Demanda mundial de batería, por aplicación, entre 2018 y 2030
(En gigavatios hora)**



Fuente: Obaya y Céspedes (2020), 26

⁹ Un gigavatio hora (GWh) es una unidad de potencia equivalente a mil millones de vatios-hora (109 Wh). Los GWh se utilizan para medir el consumo de energía eléctrica de grandes complejos industriales.

3. Oferta de litio en el mundo

El litio ocupa la posición es uno de los elementos más abundantes en el planeta. Ocupa la posición la posición 27 en el *ranking* de elementos que se encuentran en la Tierra y “se encuentra distribuido bastante homogéneamente alrededor del mundo: desde el mineral asociado a rocas en Australia, pasando por vastas reservas en Rusia, China y el Tíbet, continuando hacia el África, más particularmente por Zimbawe (*sic*), hasta finalizar en el continente americano” (Carricá, 2018; 3). Pero sin ser raro, es relativamente escaso.

Hay dos fuentes de las que se puede extraer el litio: el agua y la corteza terrestre (la capa más externa y sólida de la Tierra). El problema está en los niveles de concentración de litio, determinada en función de los factores geológicos -tales como los procesos de deformación, alteración y dislocación de la corteza terrestre por efecto de las fuerzas tectónicas y las fallas y pliegues de la corteza-, la topografía local y los procesos de sedimentación, entre otras cosas.

El agua es la mayor fuente de litio. Los cuerpos de agua dulce y superficial tienen litio, pero en cantidades mínimas, según los estudios de Huh, Chan, Zhang y Edmon (1998). En lagos, lagunas y ríos, la concentración de litio puede variar entre 0.001 a 0.020 mg/L. En aguas termales, la concentración aumenta notablemente, alcanzando niveles de concentración de litio que pueden ir de 0,5 a 19 mg/L. El mar, en cambio, es el mayor depósito de litio. Aunque varía entre los diferentes mares y océanos, se calcula que el mar contiene entre 230,000 y 250,000 megatoneladas (Mt) de litio, en concentraciones que van de 0.14 a 0.20 mg/L. (Garrett, 2004; Kavanagh *et. al.*, 2018)

En la corteza terrestre se puede encontrar en todos los tipos de suelo. De hecho, se estima, que el litio está presente en una proporción de 65 partes por millón (ppm) o 65 mg/kg (Naumov y Naumov; 2010), pero debido a que es altamente reactivo al oxígeno no se encuentra sólo en la naturaleza, sino combinado en forma de sales y minerales.¹⁰ Con base en esto, se pueden identificar dos tipos de yacimientos de litio: salmueras y minerales que, a su vez, se pueden subclasificar, como se puede apreciar en el cuadro 3.

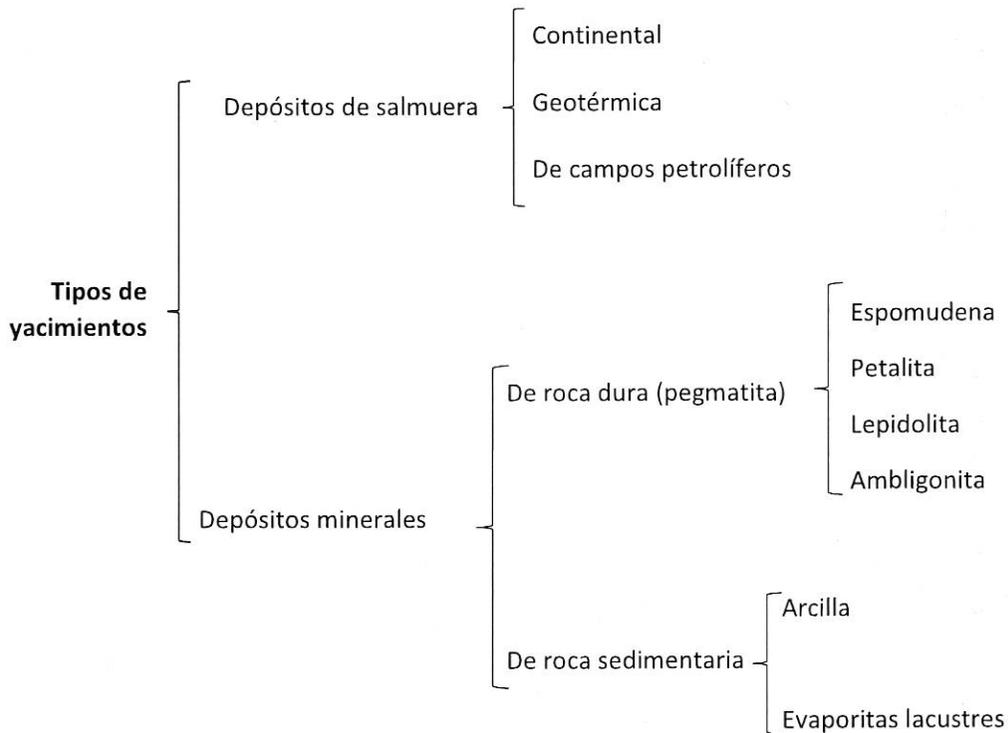
El tipo de yacimiento es importante porque condiciona la viabilidad económica de la extracción de litio, por los niveles de concentración de éste, sino por los costos en los que debe incurrirse para obtener el material. Actualmente se consideran económicamente viables las salmueras continentales y los yacimientos de roca dura o pegmatita.

En general, las salmueras son acumulaciones de agua con una muy elevada concentración de sal. Las continentales también son conocidas como salares, desiertos salinos o lagos de sal y se caracterizan por tener una parte líquida, una parte salina y una parte sólida compuesta por diferentes materiales. Pueden ser ricas en bromo, yodo, sodio, cloruro de potasio o cloruro de calcio, entre otras cosas,

¹⁰ Debido a que el litio, como otros metales, no se encuentra puro en la naturaleza es necesario distinguir entre recursos de litio y reservas de litio. Los primeros de acuerdo al Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), es una concentración natural de algún elemento o compuesto de la corteza terrestre, que puede ser extraído o procesado con los medios tecnológicos disponibles. Los recursos pueden subclasificarse en inferido (supuesto con base en información sobre localización y alguna evidencia, pero no certificado), indicado (estimado a partir de la información obtenida de procesos de exploración y pruebas) o medido (estimación con base en trabajos de exploración detallada y pruebas realizadas mediante técnicas y modelos apropiados). Las reservas, por otra parte, se refieren a los recursos minerales que son legal, económica y técnicamente factibles de extraer. Clasificadas por su probabilidad de ocurrencia, pueden ser probadas (se sabe que existen y pueden desarrollarse las explotaciones) o probables (de las cuales no se dispone información geológica suficiente para asegurar el volumen mineral a recuperar). Es decir, los recursos incluyen las sales minerales que acompañan al litio para evitar que éste reaccione a la presencia del oxígeno; las reservas se refieren sólo a los compuestos de litio extraíbles de las sales y minerales. (USGS (2020); 195 -196).

pero un factor importante para determinar si una salmuera no marina es rica en litio, según Bradley, *et al.* (2013), es si la cuenca en que se forman es cerrada o no.

Cuadro 3. Tipos de yacimientos de litio en función de la materia que lo contiene



Fuente: Elaboración propia con base en Garrett (2004).

Las cuencas endorreicas están formadas por estructura de los materiales rocosos que las componen, pero sólo pueden mantenerse en zonas donde la evaporación excede a la precipitación por largos periodos de tiempo. Según el mismo autor, las salmueras de litio económicamente viables comparten una serie de características de primer orden:

1. Clima árido.
2. Hundimiento impulsado tectónicamente.

3. Actividad ígnea o geotérmica asociada.
4. Rocas generadoras de litio adecuadas.
5. Uno o más acuíferos.
6. La edad. Tienen por lo menos 2,56 millones de años de formación.

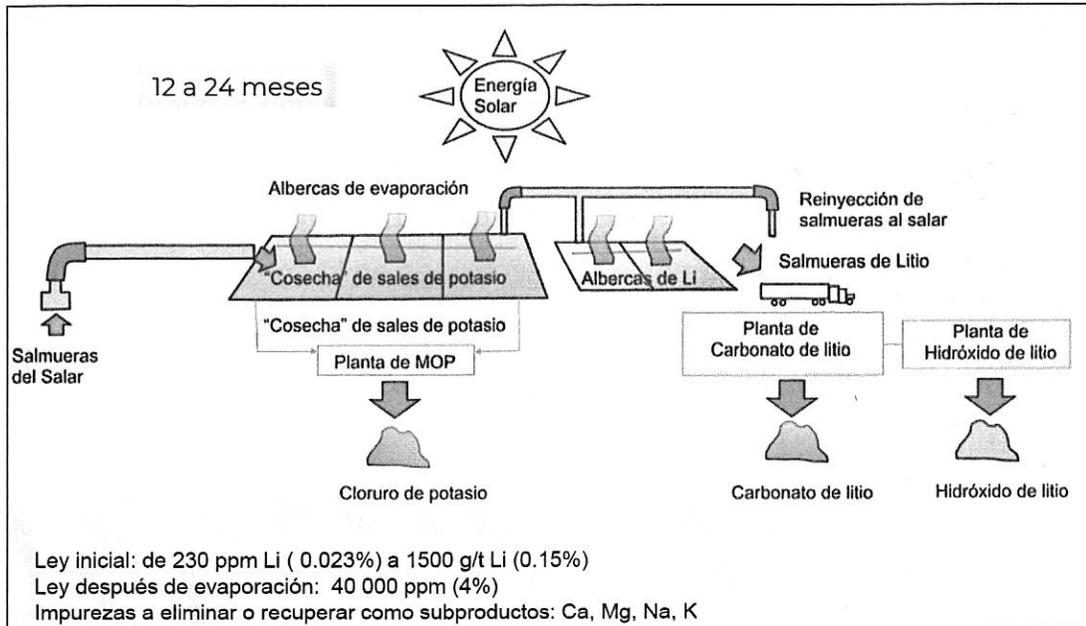
Las salmueras de litio continentales son los depósitos más importantes de litio, porque aunque el metal se encuentre diluido, el proceso de extracción es el más económico y, por lo tanto, ofrecen un mayor potencial comercial, porque puede emplearse un proceso relativamente simple de concentración por radiación solar (imagen 1) que, aunque requiere de condiciones muy específicas -grandes extensiones de terreno llano, factores climáticos y ambientales adecuados y el diseño riguroso de un sistema de estanques artificiales-, y un periodo de espera que va de uno a dos años, puede generar un concentrado de litio de 1 a 2%, de acuerdo con Garrett (2004; 100-101) y de hasta 4%, según el Servicio Geológico Mexicano (2020) que después deberá separarse de otros elementos químicos y minerales para obtener los compuestos de litio con la pureza necesaria que requiere la industria.

De acuerdo con Alatorre- Campos y Santillán-Alcántara (2020), este tipo de yacimientos se caracterizan por tener una muy baja concentración de litio, “por debajo del 0.2% Li, pero tienen volúmenes tan grandes que el total del litio contenido en ellos puede sumar millones de toneladas” (2020; 18) por lo que aportan el 78% de los recursos mundiales de litio, siendo especialmente importantes los salares de Atacama (Chile), del Hombre Muerto (Argentina) y Lake Sabuye (Tibet).

Bolivia cuenta con uno de los yacimientos más grandes de litio en el mundo, el Salar de Uyuni, pero no ha alcanzado su máximo potencial comercial debido no sólo al cuidado con que las autoridades han buscado aprovechar el recurso, sino también

a los conflictos que existen con las comunidades por los posibles efectos ecológicos y sociales de la explotación del salar.

Imagen 1. Extracción de litio de depósitos de salmueras continentales



Fuente: Servicio Geológico Mexicano (2020).

El litio, es un metal que puede contribuir al desarrollo de las energías renovables y respetuosas del medio ambiente y, con ello, al desarrollo tecnológico de los países, pero su extracción no es inocua, tiene un impacto ecológico profundo sobre la biodiversidad y la disponibilidad del agua en zonas en las que ésta es ya un bien escaso (zonas áridas o semi-áridas) y, por lo tanto, sobre la forma y medio de vida de las comunidades (Porta y Miguel, 2020; 141 - 153).

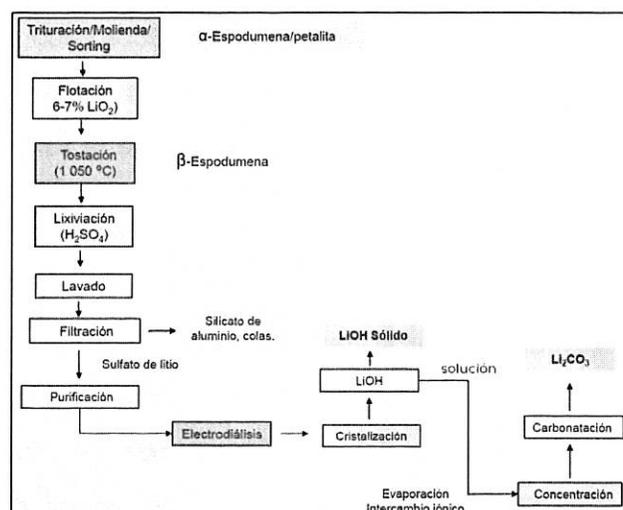
Por otra parte, los yacimientos minerales de roca dura son rocas ígneas con cristales muy grandes conocidas como pegmatitas. Dentro de estas rocas, hay un subgrupo que contiene litio, cesio, tántalo en diferentes proporciones, pero que se acompañan de otros minerales, algunos sin importancia económica. Los minerales principales de las pegmatitas (por cantidad) son: cuarzo, feldespato K, albita y

muscovita, mientras que los minerales en menor proporción son: biotita, granate, turmalina y apatita; los principales minerales económicos de litio en pegmatitas son: espodumena, petalita y lepidolita (Alatorre- Campos y Santillán-Alcántara, 2020; 18), siendo la espodumena el mineral más abundante.

Los yacimientos pegmatíticos se caracterizan por tener una concentración de litio mayor a los de salmuera, en torno al 1% en varios de los depósitos del mundo, pero como proporción de los recursos mundiales de litio suponen sólo el 19% de éstos, debido a que, aunque las pegmatitas son comunes en la corteza terrestre, las “que contienen litio constituyen solo el 1% de los recursos de pegmatitas del mundo” (Kavanagh *et. al.*, 2018; 7).

Los métodos de extracción en este tipo de yacimientos se basan en las técnicas tradicionales de minería subterránea o a cielo abierto para, una vez obtenido el mineral, triturar, flotar, tostar, disolver, lavar y filtrar para obtener el compuesto de litio (imagen 2) y procesarlo para purificarlo en los grados necesarios para las diferentes industrias.

Imagen 2. Extracción de litio de depósitos de roca dura



Fuente: Servicio Geológico Mexicano (2020).

Dado que este proceso es más costoso, la producción de litio a partir de depósitos pegmatíticos se considera sólo como un complemento a la producción derivada de las salmueras. Pese a ello, según los datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) Australia aporta más del 50% de la producción mundial de litio a partir de su yacimiento en Greenbushes, que es el más grande de los depósitos de roca dura que se conocen actualmente, aunque también operan yacimientos de este tipo en Estados Unidos, Canadá, Brasil y Zimbabue.

Del resto de yacimientos reflejados en el cuadro 3, Alatorre- Campos y Santillán-Alcántara (2020) consideran que no han demostrado su viabilidad económica, debido no sólo a sus bajas concentraciones de litio, sino a que existen diferentes tipos de arcilla y ca uno de ellos requiere de un tratamiento específico para obtener el litio, en función del tipo del tipo de minerales que acompañen al litio.

No obstante, existen yacimientos arcillosos de litio en el mundo. Uno en Estados Unidos, en Kings Valley, California, con reservas estimadas de 2 Mt, en Jadar, Serbia, con 1,4 Mt y, como veremos más adelante, en Sonora, México.

Actualmente no hay evidencia de producción en salmueras geotérmicas, pero sí existe tecnología para extraer litio de este tipo de yacimiento y, según la empresa Controlled Thermal Resources, podría resultar más eficiente que el método empleado en las salmueras continentales porque no requiere de periodos largos para la concentración del litio y su “huella de carbono es cercana a cero porque no depende del clima ni del agua; ni requiere minas a cielo abierto”, o de un costoso sistema de estanques artificiales (Jorquera, 2020).

El litio se puede obtener, entre otras tecnologías, mediante un sistema de bombeo que permite que la salmuera salga a la superficie, con una turbina que produce electricidad. Se elimina el calor y una vez que el litio se ha concentrado, se procesa para extraer el hidróxido de litio. Terminado el proceso, la salmuera se inyecta en otro lugar del depósito para que vuelva a calentarse.

Si la extracción del litio se realiza junto con la operación de una planta eléctrica geotérmica, entonces, la salmuera se produce en la superficie, haciendo que se dirija hacia la planta eléctrica a través de líneas de recolección. Una vez en ésta, la salmuera se vierte para producir vapor, una parte del cual se dirige a la turbina para producir electricidad y otra a la planta de litio, en donde se concentra y se enfría para poder extraer el metal. Una vez que esto se realiza se eliminan las impurezas para, finalmente, procesar el litio de forma selectiva y poder producir cloruro de litio que puede seguir procesándose (Jorquera, 2020)

Al usar el vapor de la salmuera se evita el uso de combustibles fósiles y se pueden reducir costos, en la generación de energía eléctrica en la extracción del litio. No obstante, las salmueras geotérmicas suponen sólo el 3% de los recursos mundiales de litio, según la Dirección General de Desarrollo Minero (2018) y no hay explotaciones, pese a que se ha estudiado el potencial de Francia, Islandia, Nueva Zelanda y Japón (Kavanagh *et. al.*, 2018; 7).

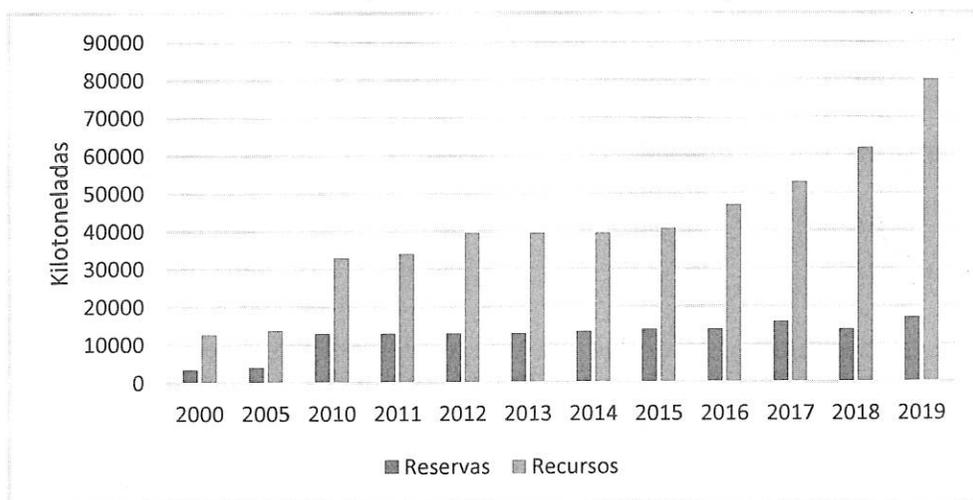
En el caso de las salmueras petrolíferas, se considera que pueden contener concentraciones de litio entre 0.1 y 700 mg/L, por lo que se ha estudiado el potencial de los campos petroleros en Texas, Arkansas, Wyoming, Dakota y Oklahoma en Estados Unidos, así como en Alberta, Canadá y Heletz Kokhav, Israel, pero los costos operacionales resultan tan elevados que no es viable comercialmente, sobre

todo mientras las salmueras continentales produzcan lo suficiente para satisfacer la demanda mundial (Kavanagh *et. al.*, 2018; 7)

El litio no era un recurso que se considerara estratégico hasta fechas relativamente recientes, pero desde mediados de la década de 2010 muchos países y empresas privadas han iniciado estudios de exploración que han tenido como resultado una continua revisión de las cifras sobre recursos y reservas de litio (ver gráfica 5), pero también la incorporación de nuevos yacimientos en Afganistán, en el Mar Muerto, en diversos países del África Sub-Sahariana, en Perú, Colombia y otros países. Descubrimientos que confirman que el litio no es un recurso escaso en el mundo o que posea sólo un pequeño grupo de países.

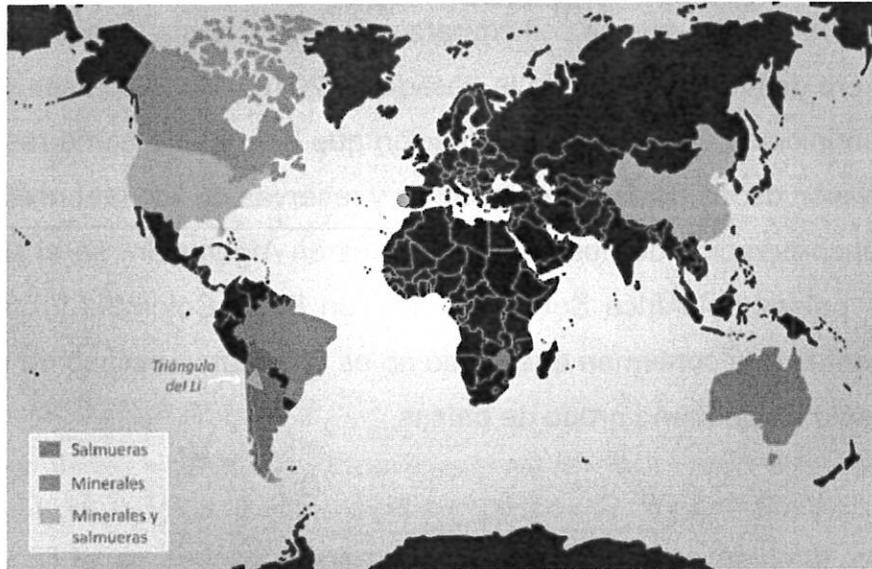
No obstante, también confirman que lo que parece escaso es el litio fácilmente extraíble, barato y viable económicamente. Son pocos los países que tienen yacimientos convencionales o con potencial económico, como se puede apreciar en el mapa 2. México se sumó a éstos recientemente, en la posición número 10, según el ranking del USGS, merced el yacimiento en Bacadehuachi, Sonora.

Gráfica 5. Recursos y reservas mundiales de litio, 2000 – 2020



Fuente: Elaboración propia con información del Servicio Geológico de Estados Unidos (varios años).

Mapa 2. Distribución de los principales yacimientos de litio en el mundo



Fuente: Borda y García, 2020; 8.

4. El litio en México

Actualmente México no produce litio. Formalmente, el Servicio Geológico Mexicano (SGM) comenzará los estudios de exploración en 2022, por lo que no se cuenta con datos oficiales sobre la cantidad de recursos y reservas de este metal en el país. Sin embargo, se tiene confirmado, por lo menos, un yacimiento de litio y hay dos proyectos en fase de exploración.

El primero, el reconocido, se encuentra ubicado en Bacadehuachi, Sonora y se trata de un yacimiento de arcilla que está concesionado a la empresa Bacanora Minerals, que en 2018 presentó su estudio de factibilidad identificando una mineralizada de 7 kilómetros de largo y reservas totales (probadas y probables) de 5,000 kt de óxido

litio. A raíz de ello se anunció por parte de algunos analistas que México contaba con el mayor yacimiento de litio en el mundo, lo que fue desmentido no sólo por la propia empresa, sino también por el SGM, que reconoce, en ese yacimiento, 0.85 millones de toneladas de reservas, contenidas en 243.8 millones de toneladas de arcilla (Núñez-Rodríguez, 2021)

Los otros dos yacimientos bajo estudio se ubican Baja California y en San Luis Potosí y Zacatecas. El primero se trata de una salmuera residual, producto de la planta de geotérmica de la Comisión Federal de Electricidad, en Cerro Prieto, pero el yacimiento que se estudia en San Luis Potosí y Zacatecas se ubica una semidesértica de cuencas endorreicas con presencia de rocas de material volcánico y sedimentario de origen continental.

De acuerdo con los datos de la Dirección General de Desarrollo Minero (2018; 11), la zona bajo estudio está formada por lagunas de 2.5 x 1.0 km distribuidos a lo largo de 100 km, en los que se encuentran sales de litio y de potasio en sedimentos de arcilla y salmueras de evaporación. La empresa Litiomex, S. A. de C. V. (privada), ha señalado que el potencial de litio es de 8,000 kt de LCE.

Actualmente se acepta la cantidad de recursos de litio señalada por USGS, de 1.7 millones de toneladas, pero el SGM tiene identificadas 57 localidades en todo el país en las que se han observado manifestaciones de litio, 11 posibles depósitos de arcilla, 24 posibles yacimientos de salmuera y 22 de roca dura, tal como se puede apreciar en el mapa 3.

Mapa 3. Manifestaciones de Litio en México



Fuente: Servicio Geológico Mexicano (2020).

De estas manifestaciones, las más prometedoras son las que se localizan Laguna de Salinas (SLP), Tzitatlán (Pue), Laguna El Salitral, Laguna Sedano, Laguna El Vidrio, y Laguna La Salada, ubicadas en Zacatecas; todos depósitos de arcilla; en tanto que la salmuera continental más importante podría ubicarse en Chihuahua (ver cuadro 4). También se tienen identificados posibles yacimientos de roca dura en Sonora, Oaxaca y Chiapas, por lo que la cantidad de recursos identificados y reservas probadas y probables podrían incrementarse en los siguientes años.

No se debe perder de vista, sin embargo, que el grueso de esos posibles yacimientos es de los que se consideran, en términos económicos, potencialmente viables, y que requieren, para su extracción de métodos de minería a cielo abierto o minería subterránea, que son altamente contaminantes, no sólo del agua, sino también de suelos y aire y que han tenido efectos muy perjudiciales en las

localidades en las que ya se emplean dichos métodos para la extracción de otros minerales y metales preciosos.

Cuadro 4. Anomalías en sedimentos y salmueras (mg/kg)

Localidad	Estado	Litio	Magnesio	Potasio	Óxido bórico	Observaciones
Laguna Tres Ojos	Chihuahua	124	21,600	20,600	132,020	Sedimentos
Laguna Palomas	Chihuahua	136	33,000	16,800	106,260	Sedimentos
Laguna El Barreal	Chihuahua	66	24,100	18,800	96,600	Sedimentos
Laguna La Salada	Zacatecas	374	86,000	2,160	-	Sedimentos
Laguna Sedano	Zacatecas	398	146,000	8,600	1,000	Sedimentos
Laguna El Salitral	Zacatecas	440	23,000	10,400	9,660	Sedimentos
Laguna El Vidrio	Zacatecas	386	35,200	28,000	-	Sedimentos
Laguna Blanca	Zacatecas	222	20,000	26,000	-	Sedimentos
Laguna de Salinas	San Luis Potosí	450	24,300	11,500	11,270	Sedimentos
Laguna El Tule	San Luis Potosí	333	45,000	11,900	644	Sedimentos
San Antonio Texcalá	Puebla	288	7,300	370	8,694	Sedimentos
Lagunillas	Puebla	258	7,100	6,000	3,220	Sedimentos
Tzitatlán	Puebla	446	9,400	162	4,830	Sedimentos
Tzitatlán	Puebla	238	6,100	103	-	Sedimentos
Laguna El Carmen	Puebla	338	90,000	103	6,440	Yeso
Cuitzeo	Michoacán	191	9,800	10,100	-	Sal de manantial
La Unión	Chihuahua	283	840	6,200	385	Salmuera continental
Cráter Alchichica	Puebla	110	16,700	-	4,800	Agua superficial

Fuente: Servicio Geológico Mexicano (2020).

Consideraciones finales

Actualmente México y el resto del mundo se enfrentan a dos fenómenos complejos y muy graves: el agotamiento de un modelo energético que, aunque ha permitido mantener ritmos de crecimiento muy elevados gracias a la eficiencia de los combustibles fósiles se ha vuelto insostenible. Por el agotamiento relativo de dichos combustibles, pero también porque ha acelerado el proceso de calentamiento del planeta debido a la emisión de gases altamente contaminantes.

Este calentamiento, que es el segundo fenómeno al que se debe hacer frente, ha generado cambios severos en los patrones climáticos que amenazan la forma y medio de vida de las sociedades, que provocan inestabilidad social, olas migratorias y deterioraran las finanzas de los agentes económicos.

En ese contexto, el litio ha adquirido un carácter estratégico, porque sus propiedades físicas y químicas lo convierten en un gran vaso receptor, contenedor y conductor de la energía eléctrica, que se espera sea la principal fuente de energía en las próximas décadas, por ser la que puede generarse a partir de fuentes renovables no contaminantes. También porque tiene un enorme potencial para impulsar el desarrollo de los países, no sólo mediante la aportación de rentas derivadas de la exportación de litio, sino a través del desarrollo tecnológico. La viabilidad de la solución planteada a la crisis energética y ambiental requieren de ese desarrollo, y de garantizar el acceso al litio y al resto de materiales estratégicos.

En México no existen datos oficiales sobre la cantidad de recursos y reservas de litio. Los estudios de exploración se iniciarán el año siguiente, pero hay manifestaciones de que dicho recurso existe en cantidades suficientes para garantizar el esfuerzo que supone la transición energética y convertirse en una oportunidad de desarrollo para el país.

Fuentes Consultadas

Aglietta, M. y Espagne, E. (April, 2018). Climate and Finance Systemic Risks, more than an Analogy? The Climate Fragility Hypothesis. *CEPII Working Paper*. CEPII. Francia.

Aguirre-Quezada, J. P. (mayo, 2021) Regulación del litio. Propuestas y comparativa internacional. En *Mirada Legislativa*. (203).

Alatorre-Campos, A. E. y Santillán-Alcántara, Y. (2020). Yacimientos de Litio. En *Geomimet*. 348.

Borda, L. y García, M. G. (2021). Yacimientos de litio. El fin del reinado de los combustibles fósiles. En *Cicterránea*. (4). 4-12.

Banner, D. y Haubenreich, P. (1991). Fusión termonuclear: Progresos de un proyecto multinacional auspiciado por el OIEA. Boletín del OIEA. No. 1.

Canaccord Genuity. (2019). Canaccord Genuity - Lithium 2019 recharge.

Carricá, P. T. (2018) *El litio: la energía del futuro*. Universidad Nacional de la Pampa. Argentina.

Comisión Europea (2012). Definición de las materias primas críticas en la Unión Europea, Bruselas. Comisión Europea. Disponible en <https://bit.ly/2wUZL3G>

CRU Consulting (2018). *Litio. Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano y largo plazo con vigencia al año 2035.* Colombia.

Dirección General de Desarrollo Minero. (2018). *Perfil del mercado de litio.* Secretaría de Economía. México.

Forlenza, O.V.; De Paula, V.J.; Machado-Vieira, R.; Diniz, B.S.; Gattaz, W.F. (2012). Does lithium prevent Alzheimer's disease? En *Drugs Ageing*. 29, 335–342.

Garret, D. E. (2004). *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride. Their Deposits, Processing, Uses and Properties.* Ojai, CA. Elsevier Academic Press.

Harp-Iturribarría, F. M (2020). Depósitos de litio en México. Servicio Geológico Mexicano. Disponible en: <https://bit.ly/2PXvU4q> (fecha de consulta: 30 de noviembre de 2021).

Hore-Lacy, I. (2011). *Nuclear Energy in the 21st Century (2nd ed)* [EPub], Londres. World Nuclear University Press.

Huh, Y., Chan, L. H., Zhang, L. y Edmon, J. M. (1998). Lithium and its isotopes in major world rivers: implications for weathering and the oceanic Budget. *Geochim et Cosmochim Acta*. 62(12). 2039–2051.

International Energy Agency (2008). World Energy Outlook.

Jorquera, C. (13 de abril de 2020). Extracción directa de litio ambientalmente amigable en la geotermia – Entrevista con Rod Colwell, CEO de Controlled Thermal Resources. *Piensa en Geotermia*. Recuperado el 26 de octubre de 2021 de: <https://www.piensageotermia.com/extraccion-directa-de-litio-ambientalmente-amigable-en-la-geotermia-entrevista-con-rod-colwell-ceo-de-controlled-thermal-resources/>.

Kavanagh, L., Keohane, J. Garcia-Cabellos, G., Lloyd, A. y Cleary, J. (septiembre, 2018). Global Lithium Sources—Industrial Use and Future in the Electric Vehicle Industry: A Review. *Resources*. 7(57).

Litio: Propiedades y características. (s. f.). <https://geologiaweb.com/minerales/litio-propiedades-caracteristicas/>.

Lo Vuolo, R. (2014). *Cambio climático, políticas ambientales y regímenes de protección social. Visiones para América Latina*. CEPAL. Santiago de Chile.

Manrique, A. (2014). Explotación del litio, producción y comercialización de baterías de litio en Argentina. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Mar del Plata].

<http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/63/TrabajoFinalIntegrador-Especializaci%C3%B3nGTI-AlejandroManrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

José Ignacio Martínez-Cortés, J. I. y Del Valle-Giles, A. V. (2014). Las tierras raras: un sector estratégico para el desarrollo tecnológico de China. En *Cuadernos de Trabajo del CECHIMEX*. 6. UNAM.

Naumov, A.V. y Naumova, M.A. (septiembre, 2010) Modern state of the world lithium market. *Russian Journal Non-Ferrous Metals*. 51. 324–330.

Núñez-Rodríguez, V. (17 de junio de 2021). Litio en México: ¿guerra por las cifras? En *Rompeviento TV*; disponible en: <https://www.rompeviento.tv/litio-en-mexico-guerra-por-las-cifras-2/>

Padrón-Jabib, F. A. (2013). Manual de baterías y acumuladores. Universidad Pontificia Bolivariana. Venezuela.

Porta, A. A. y Miguel, R. E. (2020). El litio, un recurso de valor estratégico para la región. Análisis de las implicancias ambientales. Perspectivas y propuestas En Díaz, F. J. (Coord.) *El litio en la Argentina: visiones y aportes multidisciplinarios desde la UNLP* (141 – 153 pp.). UNLP. Argentina.

Prieto, P. (invierno, 2017). En la encrucijada entre las energías fósiles y las energías renovables. En *Dossieres Economistas sin Fronteras*. No. 24. 10 – 15.

Quintero, V., Che, O., Ching, E., Auciello, O. y Obaldía, E. (junio, 2020). Baterías de Ion Litio: características y aplicaciones. *Revista de I+D Tecnológico*. 17(1).

Rodríguez, A., Ortíz, M. y Thomas, J. (2020). Baterías de ión-litio: presente y futuro. En Díaz, F. J. (Coord.) *El litio en la Argentina: visiones y aportes multidisciplinares desde la UNLP* (165 – 177 pp.). UNLP. Argentina.

Schlumberger Ltd. (2023). *Oilfield Glossary en Español*: https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/c/conventional_reservoir).

Tarascon, J.M. y Armand, M. (Noviembre, 2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*. Vol. 414. 171–179.

UPME (2018). *Litio. Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano y largo plazo con vigencia al año 2035*.

Witker-Velásquez, J. (2020) *Derecho Minero*. (2ª. Ed). IIJ-UNAM. México.

Bases de datos:

Enerdata. (2022). Cuota de electricidad en el consumo energético final total. [Energía y clima mundial. Anuario Estadístico 2022. Electrificación]. <https://datos.enerdata.net/electricidad/parte-consumo-final-electricidad.html>.