



Grado en Dirección y Administración de Empresas

Trabajo de Fin de Grado
Modelado del mercado del litio

Autor
Carlota Rodríguez Hebles

Director
Elena María Díaz Aguiluz

Madrid noviembre 2023

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

Por la presente, yo, [Nombre completo del estudiante], estudiante de [nombre del título] de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "[Título del trabajo]", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación [el alumno debe mantener solo aquellas en las que se ha usado ChatGPT o similares y borrar el resto. Si no se ha usado ninguna, borrar todas y escribir "no he usado ninguna"]:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Crítico:** Para encontrar contra-argumentos a una tesis específica que pretendo defender.
3. **Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
4. **Metodólogo:** Para descubrir métodos aplicables a problemas específicos de investigación.
5. **Interpretador de código:** Para realizar análisis de datos preliminares.
6. **Estudios multidisciplinares:** Para comprender perspectivas de otras comunidades sobre temas de naturaleza multidisciplinar.
7. **Constructor de plantillas:** Para diseñar formatos específicos para secciones del trabajo.
8. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
9. **Generador previo de diagramas de flujo y contenido:** Para esbozar diagramas iniciales.
10. **Sintetizador y divulgador de libros complicados:** Para resumir y comprender literatura compleja.
11. **Generador de datos sintéticos de prueba:** Para la creación de conjuntos de datos ficticios.
12. **Generador de problemas de ejemplo:** Para ilustrar conceptos y técnicas.
13. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
14. **Generador de encuestas:** Para diseñar cuestionarios preliminares.
15. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 01/12/2023

Firma: _____ 

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1: Salmueras de litio. Fuente:Catsensor	11
Ilustración 2: Lithium Carbonate Spot Price. Fuente: Bloomberg	12
Ilustración 3: Lithium Hydroxide Spot Price. Fuente: Bloomberg	12
Ilustración 4: Mayores productores de litio en 2021. Fuente: Servicio Geológico EE. UU.	15
Ilustración 7: Producción mina de litio por país. Fuente: Comisión Chilena del Cobre	19
Ilustración 8: Clasificación de la producción de litio. Fuente: Comisión Chilena del Cobre	22
Ilustración 11: Proyección de la producción de litio 2030 en kt LCE. Fuente: Comisión Chilena del Cobre	25
Ilustración 12: Evolución de la oferta global de litio. Fuente: Mckinsey.....	26
Ilustración 13: Producción de litio por compuesto químico. Fuente:Comisión Chilena del Cobre.....	27
Ilustración 14: Consumo de litio total y para baterías por países. Fuente: Comisión Chilena del Cobre	30
Ilustración 15: Demanda por tipo de vehículo eléctrico. Fuente: Comisión Chilena del Cobre	31
Ilustración 16: Demanda de litio para otros usos. Fuente: Comisión Chilena del Cobre	32
Ilustración 17: Objetivos de la electrificación. Fuente: AFRY	33
Ilustración 18: Usos del litio hasta 2030. Fuente: Mckinsey.....	35
Ilustración 19: Evolución del precio del litio 2022 a 2023. Fuente: Asian Metal.....	36
Ilustración 20: Producción de litio de 2010 a 2022. Fuente: Statista	37
Ilustración 21: Nivel de las reservas de litio de 2010 a 2022. Fuente: Comisión Chilena del Cobre.....	38
Ilustración 22: Wu-Xia Rate 1990-2020. Fuente: Federal Reserve Bank of Atlanta	39
Ilustración 23: Global Supply Chain Pressure Index 2010-2022. Fuente: Federal Reserve Bank of NY	40
Ilustración 24: Índice de precios del carbono en euros 2010-2022. Fuente:TradingView	41
Ilustración 25: Indicador Riesgo Geopolítico 1985-2020	42

Ilustración 22: Evolución del precio del litio frente a la producción. Fuente: Elaboración propia	45
Ilustración 23: Evolución del precio del litio respecto a las reservas. Fuente: Elaboración propia.....	45
Ilustración 24: Evolución del precio del litio respecto al precio del Brent. Fuente: Elaboración propia.....	45
Ilustración 25: Evolución del precio del litio respecto al riesgo geopolítico. Fuente: Elaboración propia.....	46
Ilustración 26: Evolución del precio del litio respecto el riesgo de interrupción de la cadena de suministro. Fuente: Elaboración propia.....	46
Ilustración 27: Evolución del precio del litio respecto el Wu Xia Shadow Rate. Fuente: Elaboración propia.....	46

Tabla de contenido

Capítulo 1. Resumen del proyecto	10
Capítulo 2. Litio.....	10
2.1 Contexto global	10
2.2 Índices de precio del litio	11
2.3 Implicaciones medioambientales.....	13
Capítulo 3. Oferta de litio	15
3.1 Proceso de producción.....	15
3.2 Factores externos que afectan a la oferta de litio	18
3.3 Oferta global de litio.....	22
Capítulo 4. Demanda de litio	28
4.1 Usos del litio.....	28
4.2 Factores que afectan a la demanda de litio	31
4.3 Demanda global de litio.....	34
Capítulo 5. Modelado del mercado del litio	37
5.1 Indicadores de la oferta	37
5.2 Indicadores de la demanda	40
5.3 Modelo autoregresivo vectorial	43
Capítulo 6. Resultados del modelo	45
Capítulo 7. Descomposición histórica	47
Capítulo 8. Conclusiones y trabajo futuro	50
Capítulo 9. Referencias	50

MODELADO DEL MERCADO DEL LITIO

Autor: Carlota Rodríguez Hebles

Directora: Elena María Díaz Aguiluz

Entidad Colaboradora: Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

1. INTRODUCCIÓN

El litio es un elemento que se encuentra en su mayoría en salmueras, soluciones acuosas que contienen concentraciones significativas de litio, generalmente disuelto en sales de litio, como el cloruro de litio. Los principales depósitos de salmuera de litio se encuentran en regiones geográficas específicas, y la extracción de litio a partir de éstas es un proceso fundamental en la producción. Chile, Argentina, Bolivia y China son países que destacan en la producción de litio a partir de salmueras.

El litio también se extrae de minerales de litio, como la espomudena y la lepidolita. Australia es uno de los principales productores de litio a partir de estos minerales.

El litio se ha convertido en un elemento clave para la transición energética, donde se busca reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el cambio climático mediante el uso de energías limpias y tecnologías más eficientes. El litio cobra importancia en esta transición debido a su uso en las baterías de iones de litio, fundamentales para el almacenamiento de energía, lo que permite una generación más eficiente y la distribución de energía de fuentes renovables como la solar y la eólica. Además, las baterías de litio son el componente principal de los vehículos eléctricos, lo que lo convierte en elemento clave para un cambio hacia una movilidad sostenible.

La demanda de este elemento incrementa de forma continua. Según un informe de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), la demanda de litio aumentará a más de 1 millón de toneladas en 2025, desde las 300.000 toneladas de 2022 y este

crecimiento se debe a la creciente demanda de baterías para vehículos eléctricos, que se espera que representen el 75% de la demanda de litio en 2025 (AIE, 2022).

Los principales objetivos de este documento son determinar qué factores afectan a la demanda y a la oferta del litio y, por tanto, a su precio, y modelizar el mercado de este elemento en función de estas variables.

2. METODOLOGÍA

Para conseguir los objetivos descritos anteriormente, en primer lugar, se lleva a cabo una investigación para recopilar toda la información sobre el mercado de litio necesaria para desarrollar el modelo. Esto incluye un análisis del proceso de producción y del transporte de litio con el objetivo de identificar indicadores relevantes de oferta, y un análisis de los usos y consumo del litio para identificar indicadores de demanda.

Una vez estudiada esta información, se han seleccionado las variables que más afectan a la oferta y demanda de litio. Se han seleccionado ocho variables: producción de litio, precio del petróleo, nivel de las reservas de litio, tasa de interés de Xia and Wu (año), indicador de riesgo geopolítico, riesgo de interrupción de la cadena de suministro y tasa de las emisiones de carbono.

Se ha construido un modelo que simula la respuesta del precio del litio a la variación de cada una de estas variables. El modelo utilizado es modelo vectorial autorregresivo, definido en la siguiente ecuación.

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + u_t$$

Por último, se ha realizado una descomposición histórica del precio del litio para analizar la contribución de cada una de las ocho variables a la desviación del precio del litio de 2010 a 2023.

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Tras desarrollar el modelo y analizar los resultados obtenidos, se observa que las variables que más afectan al precio del litio son el nivel de producción de litio y el riesgo de interrupción de la cadena de suministro. La tasa de interés y el precio del petróleo no parecen tener un gran impacto en el precio del litio en este primer análisis.

El nivel de reserva, que a priori podría tener un peso relevante, hasta ahora no ha sido significativo dado que las reservas eran muy elevadas. Habría que ver si en unos años, a medida que aumente la demanda, esta variable cobra mayor peso y si las reservas existentes son suficientes para cubrir la demanda futura.

Capítulo 2. LITIO

2.1 *CONTEXTO GLOBAL*

El litio es un elemento químico que pertenece al grupo de los metales alcalinos en la tabla periódica. Es un metal liviano y altamente reactivo que ha cobrado gran importancia en las últimas décadas debido a su amplia gama de aplicaciones en diversas industrias.

Este elemento se encuentra en la naturaleza en más de 145 minerales, además de en salmueras, aguas termales y agua de mar, siendo el carbonato de litio y el hidróxido de litio los compuestos más utilizados.

Desde hace unos años, el litio es conocido como el petróleo blanco por el papel que tiene en el ámbito energético. Sus propiedades hacen que los iones de litio sean los más apropiados para la fabricación de baterías, principalmente gracias a su elevado calor específico.

En la actualidad, el 66% de los recursos de litio proviene de las salmueras, ubicadas en el Triangulo del Litio, compuesto por Chile, Argentina, Bolivia y China. Este tipo de depósitos presentan los costes de extracción más bajo. El inconveniente principal es que se suele encontrar mezclado con otros elementos y en ocasiones se necesita un proceso adicional para separarlos (CEPAL, 2023).

Existen tres tipos de salmueras: las continentales, las geotérmicas y de campos petrolíferos, siendo las continentales las más comunes, también conocidas como salinas. Éstas se suelen encontrar cerca de volcanes y están compuestas por arena, minerales y agua.

Para la extracción del litio, es necesario construir pozos de extracción. Luego, la salmuera se distribuye en piscinas poco profundas y se deja expuesta a la radiación solar, para que el agua se vaya evaporando gradualmente y el litio se queda concentrado en la salmuera restante formando cristales de sales de litio. Estos cristales se recolectan y se someten a procesos químicos para obtener carbonato de litio u otros compuestos y a partir de ahí poder ser utilizados para la fabricación de baterías de iones de litio (Condorchem).



Ilustración 1: Salmueras de litio. Fuente: Catsensor

Los recursos restantes de litio se encuentran dentro de rocas duras, llamadas pegmatitas, formadas a partir del magma volcánico cristalizado en el interior de la tierra. Para extraer el litio se utilizan técnicas mineras tradicionales. Este procedimiento es más caro, aunque la concentración de litio en las rocas suele ser más alta por lo que puede alcanzar altos niveles de rentabilidad.

El litio tiene una elevada importancia en la actualidad, dado su papel en la industria de las baterías de iones de litio, sobretodo en los vehículos eléctricos. Es uno de los elementos claves para conseguir la transición hacia una energía limpia y la electrificación del transporte.

2.2 ÍNDICES DE PRECIO DEL LITIO

Los índices de precio del litio son indicadores que se utilizan para hacer seguimiento de los precios de este metal en el mercado. En el caso de este material, a diferencia de otros como el petróleo o metales preciosos no existen índices de precio altamente reconocidos.

Aún así, existen algunas referencias que dan información sobre los precios del litio:

- **Lithium Carbonate Spot Price (China):** Este índice muestra los precios del carbonato de litio en el mercado chino. El carbonato de litio es un compuesto químico utilizado para la fabricación de las baterías de iones de litio, siendo China uno de los mayores productores y consumidores de litio. Por eso, se consideran los precios en este país como una referencia significativa. Este índice proporciona información sobre la cotización del carbonato de litio en transacciones *spot*, es decir, de venta inmediata, lo que refleja la oferta y demanda del material en un momento específico.

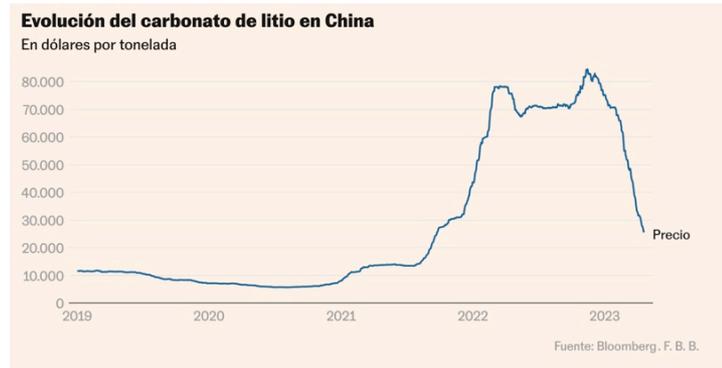


Ilustración 2: Lithium Carbonate Spot Price. Fuente: Bloomberg

- Lithium Hydroxide (China) Spot Price: A diferencia del índice anterior, este muestra los precios del hidróxido de litio en el mercado chino. El hidróxido de litio es otro compuesto derivado del litio también utilizado para las baterías de litio, con una demanda creciente en la industria de vehículos eléctricos y almacenamiento de energía.

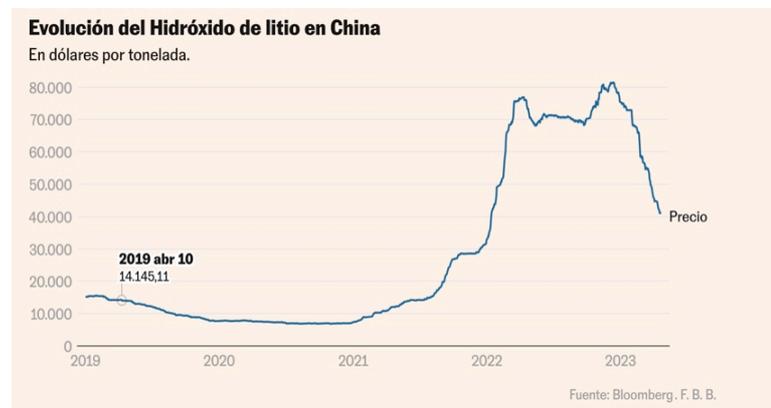


Ilustración 3: Lithium Hydroxide Spot Price. Fuente: Bloomberg

- Lithium Carbonate (South America) Spot Price: Este indicador muestra los precios del carbonato del litio, pero en el mercado sudamericano. Como se ha comentado anteriormente, países como Chile, Argentina y Bolivia, poseen gran parte de las reservas de litio a nivel mundial. El carbonato de litio extraído de estos países se exporta a diferentes mercados internacionales, por lo que este índice permite obtener una idea de los precios de producción y exportación del litio sudamericano.

- Lithium Hydroxide (South America) Spot Price: Al igual que el anterior, muestra los precios del hidróxido de litio en el mercado sudamericano, el cual también se comercializa y exporta a nivel mundial.

2.3 *IMPLICACIONES MEDIOAMBIENTALES*

El litio se ha convertido en los últimos años en un material muy demandado por su elevado número de aplicaciones y su papel en la transición energética. Los principales impactos ambientales de la extracción de litio son similares a los de la extracción de otros minerales: impacto en la contaminación del agua, paisajes, impacto en la flora y fauna, generación de residuos, etc.

La extracción de litio a través de salmueras implica la captación de grandes volúmenes de agua subterránea, que posteriormente se concentra para obtener el litio. Esto puede suponer a largo plazo el agotamiento de las reservas de agua y alterar los equilibrios hídricos locales.

Durante el proceso de extracción y procesamiento se utilizan productos químicos como ácido sulfúrico y cloruro de sodio. Si éstos no son tratados adecuadamente, pueden filtrarse en los cuerpos de agua cercanos, causando contaminación y afectando a la calidad del agua. El escape de dichos químicos por medio de la lixiviación, derramamiento o emisiones atmosféricas pone en peligro a comunidades y al ecosistema.

El litio reacciona con el vapor de agua, con el nitrógeno, el oxígeno y con el aire. Cuando entra en contacto con el ambiente y su superficie forma carbonato de litio, hidróxido de litio y nitrato de litio. Entre ellos el hidróxido de litio es particularmente peligroso debido a su potencialidad extremadamente corrosiva, debiéndose prestar especial atención a su impacto en organismos acuáticos.

Por otra parte, la construcción de infraestructuras para la extracción de litio puede requerir la deforestación de áreas naturales y la destrucción de hábitat, lo que puede llevar a la pérdida de biodiversidad y fragmentación de ecosistemas.

Además, tanto durante el proceso de extracción como en el transporte y procesamiento,

son necesarias grandes cantidades de energía, las cuales pueden provenir de diversas fuentes. En función de estas, puede haber emisiones importantes de efecto invernadero, propiciando el cambio climático.

Respecto a consecuencias posibles para los trabajadores del sector, se han efectuado estudios intensos sobre su toxicidad en el cuerpo humano, sus efectos y daños. En el caso de polvos compuestos de litio, comunes durante la extracción en minas a cielo abierto, el contacto con la humedad de la piel humana causa quemaduras semejantes a las de la soda cáustica, y su aspiración provoca inicialmente una fuerte irritación en nariz y garganta, debido a su alcalinidad, y provoca exudaciones en el interior de los bronquios y edema pulmonar con una mayor exposición (CEDHA, 2012).

Dado que la demanda de este material es continuamente creciente, la industria del litio está trabajando para abordar estos desafíos y reducir su impacto ambiental, con el objetivo de conseguir que esta tecnología sea lo más limpia posible.

A pesar de esto, el litio juega un papel clave en la transición energética debido a su importancia en el desarrollo de tecnologías limpias y sostenibles.

El papel más importante del litio en la transición energética es su uso en las baterías de iones de litio, esenciales para el almacenamiento de energía renovable. Estas baterías permiten capturar la energía generada por fuentes como la solar y la eólica y liberarla cuando sea necesaria, por lo que contribuye al cambio de combustibles fósiles a energías renovables (Energy5, 2023).

De la misma manera, el litio es un componente clave en las baterías de vehículos eléctricos, promoviendo la movilidad sostenible y contribuyendo a la reducción de gases de efecto invernadero en el sector del transporte.

Además de los vehículos eléctricos, las baterías de litio se utilizan también en sistemas de almacenamiento de energía estacionaria, lo que incluye aplicaciones para hogares, empresas e infraestructuras, contribuyendo a la mejora de la gestión de la energía y a la estabilidad de la red eléctrica.

En resumen, el litio desempeña un papel central en la transición hacia una economía baja

en carbono, al facilitar el almacenamiento de energía renovable, la movilidad eléctrica y la estabilización de la red eléctrica.

Capítulo 3. OFERTA DE LITIO

3.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Como se menciona al principio, existen diferentes procedimientos de extracción del litio. Australia, el mayor productor global, lo obtiene a través de la minería convencional, pero este es un proceso muy caro y contaminante.

Países como Chile, Argentina o China emplean el proceso de extracción a través de la evaporación del agua de las salinas. Se extrae de salmueras ubicadas, entre otros, en el Salar de Atacama en Chile. En la figura 4 se muestra la producción de litio a lo largo del 2021 por los principales países productores.



Ilustración 4: Mayores productores de litio en 2021. Fuente: Servicio Geológico EE. UU.

La extracción de estas salmueras se realiza mediante bombeo, y la concentración posterior bien por medio de la adsorción utilizando un adsorbente selectivo, o por evaporación en piscinas poco profundas. La evaporación favorece la concentración de las sales y hace que al saturarse se vayan precipitando.

Las ventajas de la adsorción es que no afecta la composición del agua salda. Incluso, se pueden tratar aguas con bajas concentraciones de litio. Tampoco afectan las condiciones meteorológicas y se generan menos residuos. Las principales desventajas son el elevado coste tanto de los equipos como del adsorbente utilizado.

Por otro lado, la evaporación presenta como ventajas que no se consume apenas energía ni es necesario utilizar muchos reactivos químicos. Como desventaja, destaca la necesidad de usar simultáneamente otro método de separación y la dependencia de las condiciones meteorológicas. Este procedimiento es el que se utiliza en la mayoría de los casos y es el que se describe en la Figura 5.

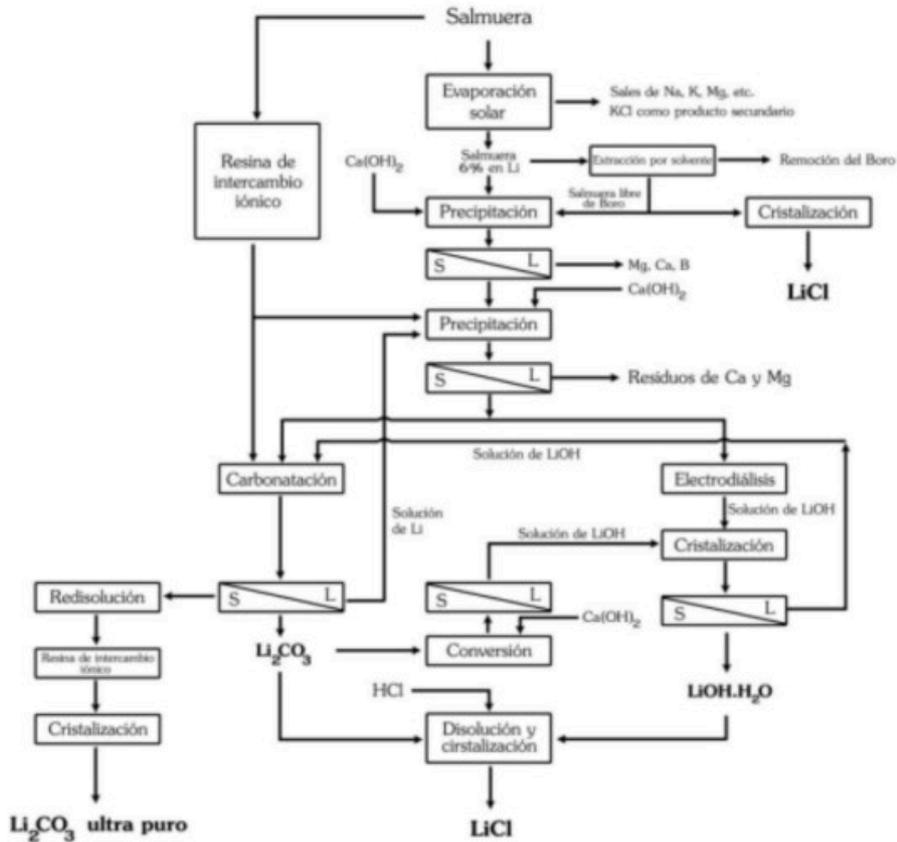


Ilustración 5: Proceso producción Carbonato de Litio. Fuente: Condorchem

Tras la extracción de las salmueras de litio de los salares, ésta se somete a un pretratamiento para eliminar elementos no deseados como magnesio y calcio. Posteriormente, se llevan las salmueras a las piscinas de evaporación para someterlas a un proceso de concentración. Gracias a la exposición al sol y al viento, el agua se va evaporando de manera natural y la concentración de sales de litio en la salmuera aumenta.

La salmuera inicial posee una concentración de litio de 0,22%, llegando ésta al 6% tras el proceso de evaporación, aunque depende de la cantidad presente de otros minerales como el boro o magnesio.

A continuación, a través de procesos de precipitación y agregado de otros reactivos, el litio se separa del resto de compuestos de la salmuera. Tras este proceso se habrá obtenido el carbonato de litio, el cual debe ser purificado, secado y cristalizado (Figura 6). Para que el carbonato de litio sea adecuado para ser utilizado en la fabricación de baterías para vehículos eléctricos debe tener una pureza superior al 99,95%, por lo que el carbonato de litio obtenido necesita ser refinado mediante varias reacciones y etapas de recristalización (Condorchem).

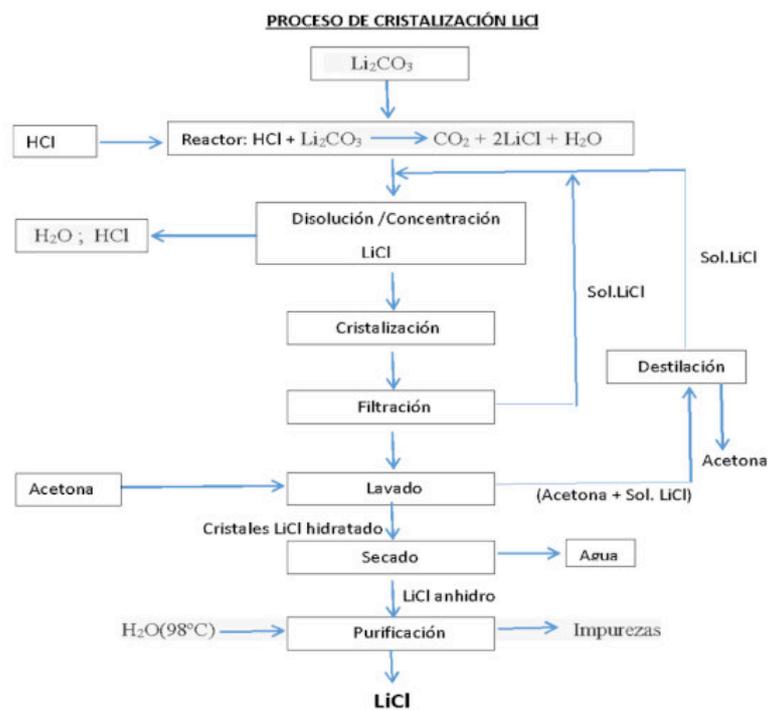


Ilustración 6: Proceso Cristalización Carbonato de Litio. Fuente: Condorchem

3.2 FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN A LA OFERTA DE LITIO

El precio del litio ha experimentado numerosas fluctuaciones al alza y a la baja en los últimos años debido a una serie de factores externos que afectan a la oferta y que se detallan a continuación.

3.2.1. Fuerte crecimiento que provoca un mercado inestable

El mercado de litio es todavía inmaduro, fluctuando a menudo su oferta entre el déficit y el superávit. Dado que el 85% del uso final del litio se destina a la producción de las baterías de litio, su precio está muy ligado a este mercado.

Además, el desarrollo y construcción de las infraestructuras necesarias requiere una inversión muy alta tanto de tiempo como de dinero, por lo que cuando la demanda de estos productos aumenta, la oferta no se puede aumentar de forma inmediata al mercado. Se estima que poner en marcha una nueva capacidad de extracción de litio lleva entre 3 y 5 años, realizando en este tiempo estudios, gestión de permisos, financiación, etc.

3.2.2. Calidad del litio obtenido

Como se ha comentado anteriormente, el litio que se utiliza para fabricar las baterías debe tener una pureza muy elevada, y para esto a veces es necesario emplear complejos y costosos procesos.

Durante los primeros meses de las refinerías, hasta que éstas cuenten con la experiencia y tecnología adecuada, el litio obtenido será de menor calidad y no será compatible con las baterías.

En conclusión, aunque se construyan numerosas plantas de producción a corto plazo, éstas no serán realmente útiles hasta después de un tiempo.

3.2.1. Países que producen litio

La figura 7 muestra la distribución de la producción minera de litio por país.

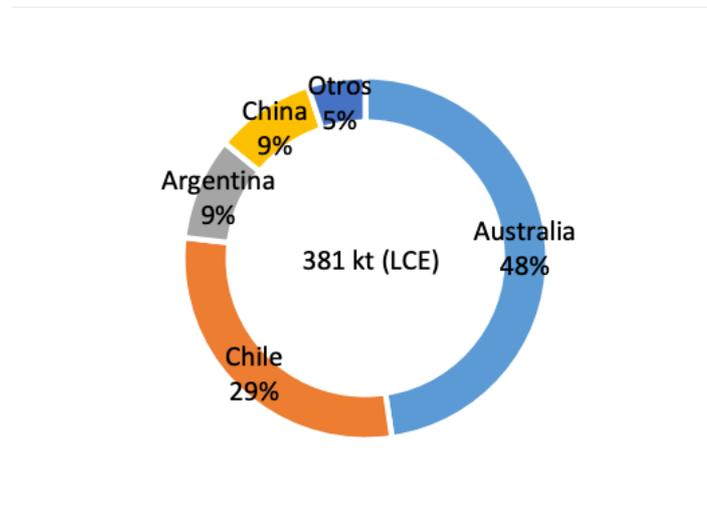


Ilustración 5: Producción mina de litio por país. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

En la actualidad, Australia es el principal productor de litio, contribuyendo casi a la mitad de la oferta a nivel mundial. Se están encontrando reservas de litio en otros países como EE. UU., Canadá y Zimbabue, los cuales contribuirán en un futuro a la oferta de litio. También en Europa se están realizando estudios para abrir diferentes minas y explotar las materias primas existentes en países como Alemania, Portugal y España.

Tras la producción, es necesario realizar el refinado del metal, que es donde se estrecha más el cuello de botella, ya que China concentra el refinado del 60% del litio mundial; también representa el 77% de la producción mundial de células de baterías y el 60% de otros componentes de batería. Por tanto, el problema no es sólo el de la concentración de la producción sino también del procesamiento del litio, principalmente en manos de China (El Confidencial, 2022).

A medida que se vayan encontrando nuevas reservas y más países sean capaz de realizar el procesamiento, la oferta de éste tenderá a aumentar.

3.2.1. Producción por tipo de fuente

Existen tres principales fuentes de litio: rocas minerales o pegmatitas, salmueras y rocas sedimentarias. En cuanto a la participación de cada una de estas a nivel mundial, las primeras contribuyen al 26%, las salmueras representan el 66% y las rocas sedimentarias un 8% (Secretaría economía México, 2018).

A pesar de que las salmueras son los recursos más abundantes, las pegmatitas cuentan con la ventaja de encontrarse en un número mayor de localizaciones. Actualmente, sólo se extrae litio de las dos primeras, aunque algunas empresas están estudiando la obtención de litio a partir de arcillas en EE. UU., lo que aumentaría la oferta de litio.

Además, las salmueras no se encuentran trabajando a su máxima capacidad. Numerosas empresas están estudiando como aumentar la capacidad de producción de éstas e incrementar la oferta de litio.

3.2.1. Condiciones climáticas

Las condiciones meteorológicas afectan al proceso de obtención del litio. Es necesario mantener unas temperaturas adecuadas tanto para la extracción a partir de las rocas como para las salmueras, ya que estas últimas tienen que llevar a cabo un proceso de evaporación.

En función de las condiciones climáticas, la evaporación y la posterior separación de los distintos compuestos será más o menos exitosa.

Las malas condiciones harán que el proceso de extracción sea mas complejo, limitando así la oferta de litio.

3.2.1. Situación política a nivel mundial

Como se ha explicado anteriormente, las reservas de litio están concentradas en muy pocos países, por lo que el resto de los países necesitan de éstos para cubrir su demanda de litio.

Las relaciones políticas internacionales afectan a la oferta global, por lo que es necesaria una regulación de modo que los países productores no abusen de su capacidad y de sus recursos.

Alrededor del 87% del litio no refinado que obtiene la UE procede de Australia -el resto de Portugal-, mientras que Chile, Estados Unidos y Rusia aportan el 78%, el 8% y el 4%

respectivamente. Más del 70% de las baterías de iones de litio que entraron en el mercado el año pasado se produjeron en China(Euronews, 2022).

En la actualidad hay 10 proyectos de litio potencialmente viables en la UE: tres en Portugal, dos en España y Alemania respectivamente, y los tres restantes en la República Checa, Finlandia y Austria. Con estos proyectos se conseguiría reducir la dependencia exterior y tener la UE sus propios suministros.

3.2.1. Regulaciones medioambientales y gestión de permisos

Antes de que una planta de producción se ponga en marcha se tienen que llevar a cabo y cumplimentar una serie de procesos y permisos, como, por ejemplo, regular la emisión de gases invernadero, el consumo de electricidad, las condiciones de trabajo de los trabajadores, etc. Desde que se construye la planta hasta que ésta está habilitada para funcionar suelen pasar unos 3-5 años.

Además, las dos formas de extracción de lito se consideran perjudiciales para el paisaje y la población local, con un riesgo potencial de contaminación del aire y el agua. El uso de agua para extraer litio también es controvertido, ya que el agua es cada vez más escasa en algunas zonas debido al cambio climático.

Existe una tercera forma, más ecológica, de extraer litio, llamada Extracción Directa de Litio y que se está aplicando en el posible proyecto de Alemania. Se basa en la energía geotérmica para bombear la salmuera a la superficie para permitir la extracción de litio antes de ser bombeada de nuevo al depósito geotérmico subterráneo(Euronews, 2022).

3.2.1. Situación económica

El proceso de extracción y producción de litio, así como la exploración de nuevos recursos, requiere grandes inversiones.

En tiempos de recesión económica o incertidumbre financiera, es posible que las inversiones en nuevos proyectos mineros se reduzcan, lo que puede limitar la capacidad de expandir la producción de litio y, por lo tanto, afectar la oferta.

En respuesta a la situación económica, los gobiernos pueden implementar políticas y regulaciones que influyan en la producción y la oferta de litio. Por ejemplo, pueden establecer incentivos fiscales o programas de estímulo para promover la inversión y la producción de litio durante períodos de desaceleración económica.

3.3 OFERTA GLOBAL DE LITIO

En la siguiente tabla se detallan la participación, a nivel mundial, de cada fuente de litio, el estado natural en el que se encuentran y donde están ubicadas.

Tipo	Tipos de depósitos	Part. a nivel mundial	Estado natural	Ubicación mayores depósitos
Pegmatitas	Esodumeno, petalitas, lepidolitas, amblogonita y eucryptita	26%	Roca dura (a partir de magma cristalizado bajo la superficie terrestre)	Australia, EE.UU., RDC, Canadá
Salmueras	Continental (salmueras), geotermales y petroleros	66%	Salmueras (arenas, agua y sales minerales)	Triángulo del litio (Chile, Argentina, Bolivia)
Rocas sedimentarias	Arcillas, toba volcánica, rocas evaporitas lacustres	8%	Rocas minerales de esmectita (arcilla) jadarita (evaporita lacustre)	EE.UU., México, Serbia (Jadar), Perú (Falchani)

Ilustración 6: Clasificación de la producción de litio. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

Las reservas de salmuera representan el 66% de los recursos de litio. Este tipo de depósitos son los que tienen menores costos de extracción.

El 26% de los recursos disponibles de litio a nivel mundial se encuentra dentro de rocas duras. Estas están en una roca llamada *pegmatita*, que se forma a partir de magma volcánico cristalizado en el interior de la tierra. Para aprovechar el litio, es necesario utilizar técnicas mineras tradicionales para extraer las piedras y posteriormente será procesado.

Por último, las rocas sedimentarias representan el 8% del recurso disponible. La explotación de éstas no ha resultado ser económicamente rentable, por lo que no es un recurso que se utilice actualmente.

Si atendemos a las reservas de litio por país, las salmueras están ubicadas principalmente en el triángulo del litio. Hay que tener en cuenta que las reservas presentes en Bolivia

cuentan con una alta concentración de magnesio, lo que dificulta el procesamiento y no resulta rentable.

Países como Australia también cuentan con altas reservas de litio, siendo casi todas pegmatitas.

Si se analiza la producción de litio a partir de las dos fuentes que se explotan actualmente, el 55% de la oferta proviene de las pegmatitas. Esto se debe a que el tiempo de procesamiento es inferior al de las salmueras y se puede producir directamente hidróxido de litio, el cual está ganando más popularidad en las empresas dedicadas a producir baterías.

La obtención de litio a partir de salmueras requiere de menos recursos. Tan solo es necesario llevar las salmueras a evaporación y posteriormente precipitarlas, por lo que suele tener un coste menor.

En el 2020, de todo el litio obtenido a partir de pegmatitas, Australia produjo el 86%, mientras que, del litio obtenido a partir de las salmueras, Chile produjo el 65% y Argentina el 21% (Comisión Chilena del Cobre).

Con respecto a las empresas que actualmente se dedican a explotar los recursos y de producir los compuestos derivados del litio, el mercado está muy concentrado. En 2020, el 66% de la producción mundial estaba gestionado por dos empresas, Albemarle y SQM. Se espera que a medida que se vayan encontrando nuevas reservas y se desarrollen nuevas tecnologías que generen más rentabilidad, vayan surgiendo nuevas empresas y la cuota de mercado de cada una de ellas esté más dividida (Comisión Chilena del Cobre).

Como ya se ha mencionado, existen dos compuestos químicos que se derivan del litio, el hidróxido de litio y el carbonato de litio.

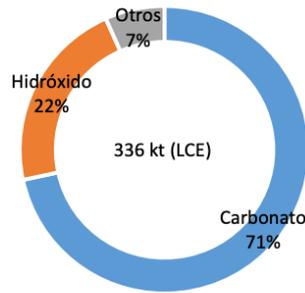


Ilustración 9: Producción por composición química en 2020. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

Aunque en los años anteriores, la oferta de litio se encontraba principalmente en forma de carbonato, siendo un 71% en 2020 (Figura 9), el hidróxido está ganando participación y se espera que aumente en un futuro y llegue a superar al carbonato.

En el año 2019, la producción agregada de productos de litio fue de 336 kt, mientras que la producción de los recursos fue de 381 kt. Esta diferencia, que se puede traducir en pérdidas, se debe al almacenamiento de recursos y a la falta de capacidad de procesamiento.

Recientemente, para aumentar la oferta de litio se ha desarrollado lo que se conoce como producción secundaria de litio, basada en el reciclaje de las baterías de ion-litio. En 2018 ya había 52 centros de reciclaje o reprocesamiento, ubicados en su mayoría en China, que se encuentran conectados a los fabricantes de las baterías y de vehículos eléctricos para hacer más fácil la actividad. Se espera que para 2030, el litio secundario represente el 7% de la demanda, aunque dependerá de los precios y del coste de reprocesamiento.

La oferta existente de litio está determinada en parte por los costes de producción, puesto que, a más costes, la rentabilidad obtenida será menor y no interesará producir este compuesto.

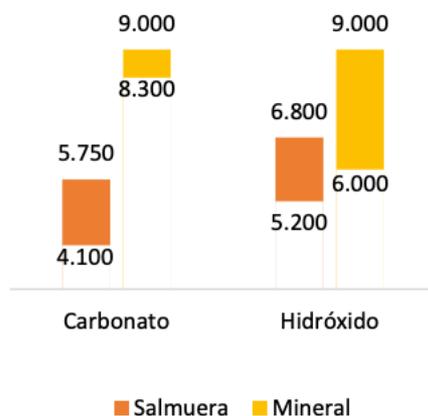


Ilustración 10: Costes de producción por tonelada en dólares. Fuente: Roskill

Como se observa en la Figura 10, el coste de producción total tiende a ser inferior en la producción de litio a partir de salmueras, tanto de carbonato como de hidróxido de litio.

Si se estudian los costes de producción de a partir de cada tipo de recurso por países, se obtiene que los costes de las operaciones en Argentina, Chile y EE. UU. son similares, mientras que las mismas en China tienen un coste mayor. Esto es debido principalmente a un mayor consumo energético, puesto que las condiciones meteorológicas en China son menos adecuadas para la evaporación y el grado de impureza de los salares es mayor.

Hay que considerar también los costes de los impuestos, los cuales están teniendo un impacto muy alto en los últimos años, especialmente en Chile y Argentina, donde se ha instaurado un impuesto sobre las exportaciones y sobre el impacto medioambiental.

En la Figura 11 se realiza una proyección de la producción de litio para 2030.

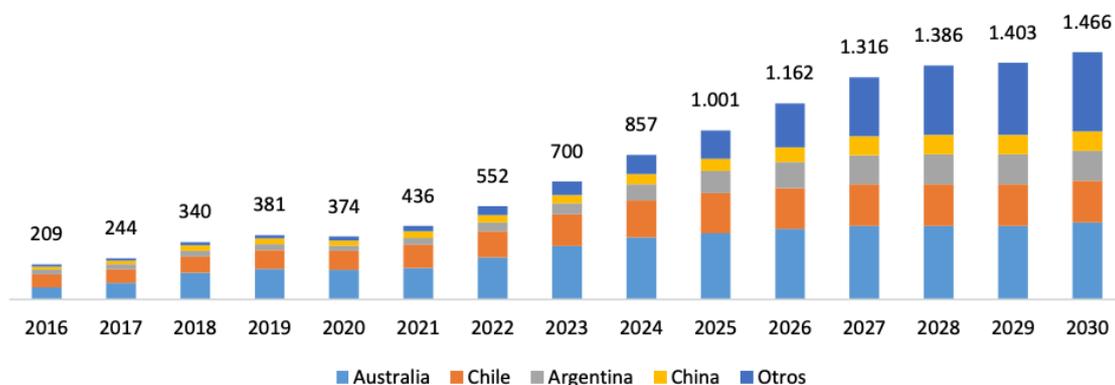


Ilustración 7: Proyección de la producción de litio 2030 en kt LCE. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

De la Figura 11 se extrae que los 4 países principales productores de litio tendrán unos aumentos absolutos en la producción. Si se tienen en cuenta las participaciones relativas, Australia y Chile seguirían siendo los dos países líderes, pero su participación iría disminuyendo. La producción de Australia pasaría de un 48% en 2019 a un 31% en 2030, y la de Chile de un 29% al 17% de la cuota mundial. Esto se debe a la entrada de nuevos países en los que se han encontrado reservas de litio que pueden contribuir a la oferta global, como EE. UU., Canadá y Zimbabue.

La oferta global de litio aumentará un 20% anual del 2020 al 2030 (McKinsey,2022), como se observa en la Figura 12.

Lithium production is expected to expand by 20 percent a year.

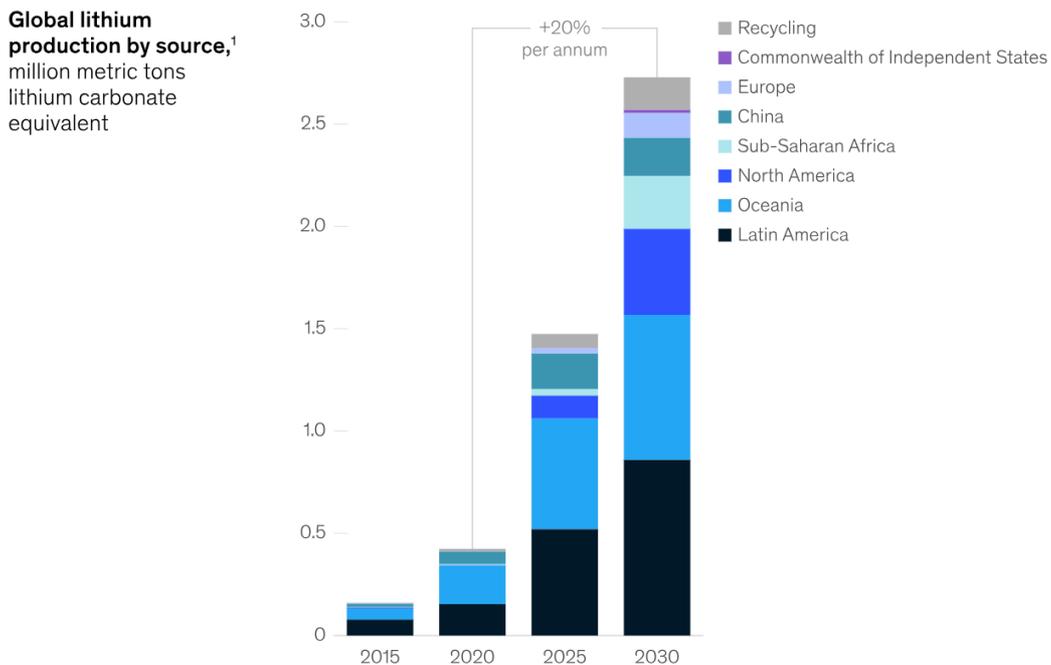


Ilustración 8: Evolución de la oferta global de litio. Fuente: Mckinsey

Hasta ahora, el carbonato de litio ha sido el compuesto químico mas utilizado para fabricar las baterías de litio. En los últimos años, se observa una tendencia de los fabricantes hacia el uso del hidróxido de litio, y se espera que para 2030, de todas las producciones un 49% sean a partir de hidróxido de litio (Figura 12).

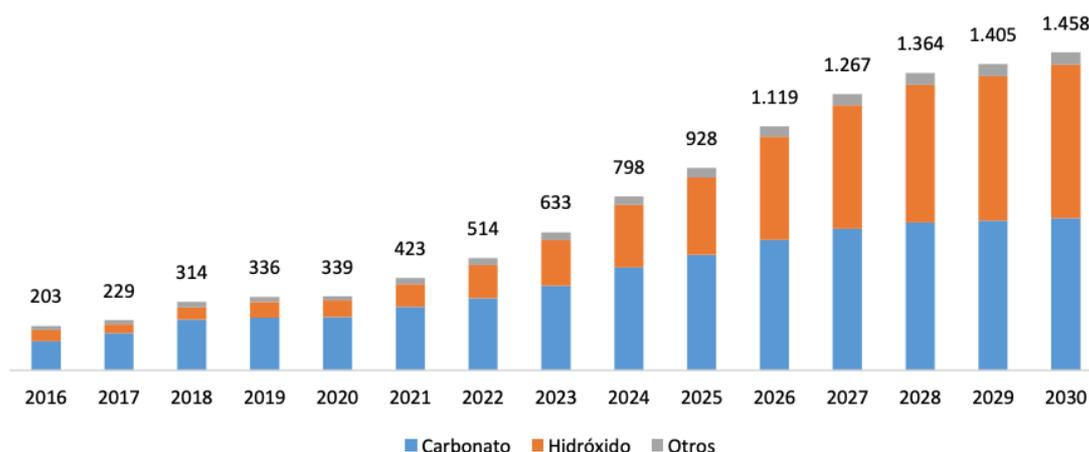


Ilustración 9: Producción de litio por compuesto químico. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

Por este motivo, muchos de los fabricantes de litio a partir de salmueras están invirtiendo recursos para obtener una mayor capacidad de conversión de carbonato a hidróxido.

Por último, en cuanto a nuevos proyectos existentes, en Australia destacan los proyectos de Pingangora y Altura Mining, que se espera que pasen de la producción de 35 kt en 2019 a 100 kt en 2030. Hay que mencionar que las operaciones en este país se están viendo perjudicadas por el impacto económico del COVID -19.

Argentina cuenta con dos proyectos de producción de litio a partir de salmueras: el Salar del Hombre Muerto y el Salar de Olaroz, y se espera que en los próximos años se desarrollen nuevos proyectos, aunque estos dependerán de la situación económica global.

En Chile, toda la producción de litio proviene del Salar de Atacama, que se espera que doble su producción en los próximos años.

Por último, aunque Canadá no cuente actualmente con una producción destacable de litio, es muy probable que, en los próximos años, dadas sus reservas y el estado de los proyectos existentes, se convierta en uno de los países principales.

Capítulo 4. DEMANDA DE LITIO

4.1 USOS DEL LITIO

El primer paso para comprender la demanda de litio es estudiar los usos que se le puede dar a este compuesto.

El litio ha llegado a convertirse en un elemento esencial en numerosas industrias: electrónica, energía, medicina, etc. Sus propiedades y versatilidad han hecho que el litio sea un elemento clave en la transición energética y en la búsqueda de soluciones más sostenibles.

A continuación, se presentan los principales usos del litio, desde los más tradicionales hasta los que se han descubierto más recientemente:

- **Vidrios y cerámicas:** Los compuestos del litio cuentan con una baja expansión térmica y alta resistencia al calor, lo que hace que sean ideales para fabricar pantallas de dispositivos electrónicos, electrodomésticos y otros componentes industriales.
- **Lubricantes y grasas:** Los derivados del litio son aditivos muy valiosos en la fabricación de lubricantes y grasas industriales. Dada su elevada resistencia a la corrosión y temperatura, tienen numerosas aplicaciones industriales y automotrices.
- **Medicina:** A mediados del siglo XX se descubrió que el litio tenía usos terapéuticos, que ha ido evolucionando con el tiempo y sirve de tratamiento para trastornos psiquiátricos.
- **Aleaciones metálicas:** El litio se usa como aditivo en aleaciones metálicas con el fin de mejorar la resistencia y reducir la densidad de algunos materiales.
- **Energía nuclear:** El litio se usa como refrigerante en algunos tipos de reactores nucleares. Además, se está investigando sobre sus usos en fusión nuclear como tritio y en sistemas de confinamiento magnético.
- **Industria aeroespacial:** El litio desempeña un papel muy importante en esta industria, gracias a su alta densidad de energía y bajo peso. Se usa en baterías de

respaldo y en sistemas de energía para aviones y satélites. A medida que la tecnología aeroespacial ha ido avanzando, se ha empezado a usar en aplicaciones de propulsión y almacenamiento de energía.

- **Baterías de iones de litio:** Es una de las aplicaciones del litio más destacables y transformadores. Los investigadores sobre las baterías con electrodos de litio se iniciaron en la década de 1970, aunque su comercialización en dispositivos electrónicos no comenzó hasta la década de 1990. A partir de ese momento, estas baterías han revolucionado la industria electrónica. Como se verá a continuación, las baterías recargables de vehículos eléctricos y los sistemas de almacenamiento de energía renovables son uno de los determinantes principales de la alta demanda de litio, que se ha venido incrementando por la búsqueda de alternativas menos contaminantes que el combustible habitual y el auge que esta experimentando la electromovilidad.

Las baterías son un mercado que mueve millones de dólares. Se estima que para 2025 el mercado de las baterías de litio alcance los 105 mil millones de dólares con una tasa de crecimiento anual compuesto del 6,63% en los próximos nueve años.

Para el año 2018, se requirieron 3.3 millones de baterías para ser utilizadas en vehículos eléctricos. Es una industria potente que espera tener un crecimiento del 22% del CAGR para el periodo comprendido entre 2017-2025.

Las ventajas principales de este tipo de baterías son la alta densidad de energía, lo que les permite almacenar una gran cantidad de energía; y la baja tasa de autodescarga, mucho mas baja que otras tecnologías. También poseen unos ciclos de vida mas largos y un tiempo de carga más corto que el resto de las baterías. Esto es especialmente importante en los vehículos eléctricos, donde se busca que el tiempo de carga sea lo menor posible. Por último, presentan una mayor eficiencia, lo que hace que pierdan menor energía en forma de calor durante su funcionamiento y son menos contaminantes que otras baterías con alto contenido en plomo o cadmio, lo que hace que contribuyan a un futuro más sostenible y eficiente.

En cuanto a los usos del litio según el compuesto químico, es decir, como carbonato de litio o como hidróxido de litio, el carbonato es el producto más usado actualmente, con un 71%, seguido del hidróxido con un 24%; aunque como ya se ha comentado, existe una nueva tendencia de sustituir el carbonato por hidróxido.

Tanto el hidróxido como el carbonato requieren de un grado de pureza elevado para su aplicación en la fabricación de baterías. Esta debe ser de un aproximadamente de al menos un 99,5%.

Con respecto al consumo de litio por países, China es el principal consumidor, representando el 39% del consumo de litio a nivel agregado y el 50% del litio que se destina a la fabricación de baterías. El consumo en China ha experimentado subidas anuales de casi un 10% desde principios del siglo XXI, fomentado por el crecimiento de su sector automotriz y electrónico (Comisión Chilena del Cobre).

Otros países que actualmente lideran la industria automotriz y la electrónica son Japón, Corea del Sur y Europa. Junto con China, en el campo de las baterías, Japón y Corea contribuyen al 93% del consumo de litio y se espera que siga aumentando en los próximos años (Figura 14).

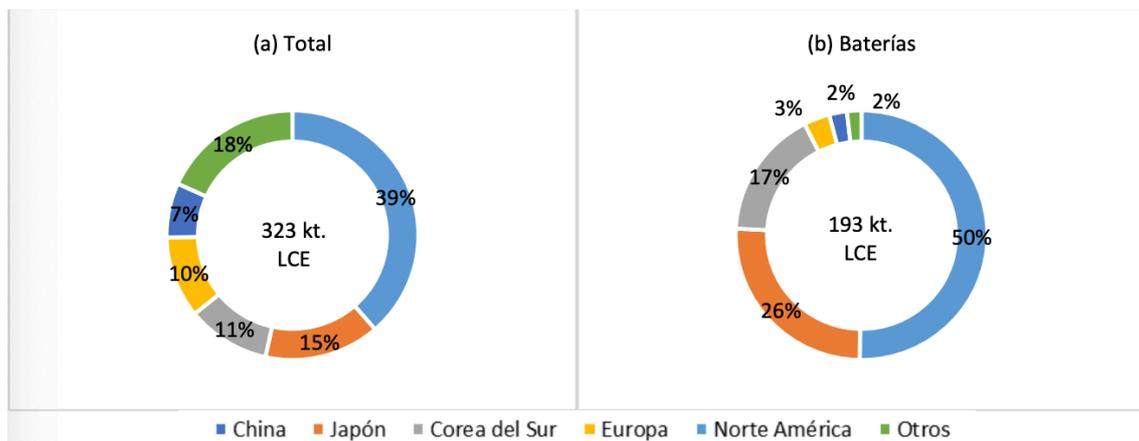


Ilustración 10: Consumo de litio total y para baterías por países. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

4.2 FACTORES QUE AFECTAN A LA DEMANDA DE LITIO

El litio se considera uno de los elementos claves para reducir las emisiones de gases invernadero, desprenderse de los combustibles fósiles y conseguir un mundo neutro en carbono. En esta sección se detallarán aquellos factores que afectan a la demanda de litio.

En primer lugar, está el rápido crecimiento en la adopción de vehículos eléctricos. Tanto los gobiernos como los consumidores están priorizando la sostenibilidad y buscan reducir las emisiones de carbono, por lo que existe un impulso hacia la movilidad eléctrica. Como ya se vio antes, la alta densidad de energía hace que el litio sea un componente crucial en las baterías de los vehículos eléctricos.

A pesar del impacto del COVID-19 en el sector de la automoción, las ventas de vehículos eléctricos (VE) crecieron en torno al 50% en 2020 y se duplicaron hasta alcanzar aproximadamente siete millones de unidades en 2021.

En la Figura 15, se observa una estimación de la demanda de litio destinada a los vehículos eléctricos hasta 2030, diferenciando entre los vehículos completamente eléctricos (BEV), híbridos (PHEV) y otros, donde se incluyen, autobuses y camiones.

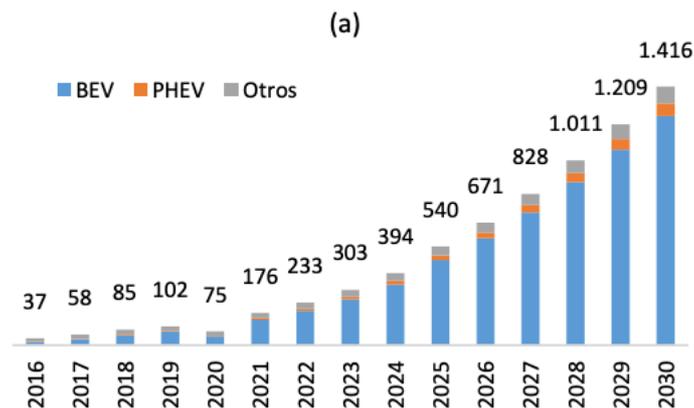


Ilustración 11: Demanda por tipo de vehículo eléctrico. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

También con el objetivo de la descarbonización, la inversión y el desarrollo de las energías renovables como la solar o la eólica se encuentra en continuo crecimiento. Un

requerimiento es el almacenamiento de energía para gestionar la generación intermitente de esta. Las baterías de iones de litios son una opción perfecta para estos proyectos.

La capacidad renovable mundial se incrementará en más de 440 gigavatios (GW) en 2023, según la Agencia Internacional de la Energía (Agencia Internacional Energía, 2023). Esto supone un incremento de 107 GW con respecto al gran crecimiento de 2022, el mayor de la historia.

De la misma manera, el crecimiento continuo del mercado de la electrónica y sus baterías dependen también de este material.

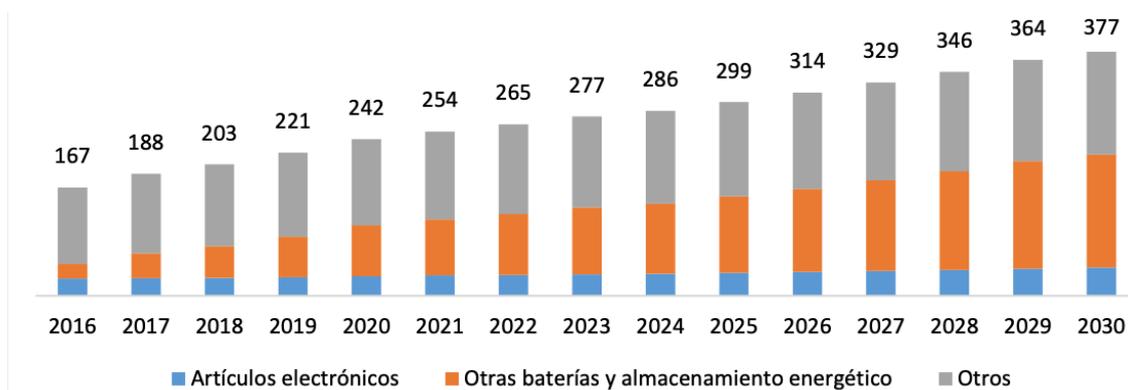


Ilustración 12: Demanda de litio para otros usos. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

La demanda del litio también es influida por el precio de otras commodities como el petróleo o el gas natural. Los elevados precios de estas en los últimos meses hacen que muchos consumidores busquen otras alternativas más asequibles como el litio.

Adicionalmente, muchos gobiernos implementan políticas y proporcionan incentivos para acelerar la descarbonización. Todas estas medidas tienen un impacto directo en la demanda de litio.

La Unión Europea estableció como objetivo lograr la descarbonización completa de la energía en 2050. Recientemente, Europa ha revisado su objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, pasando de un objetivo del 40% al 55% para 2030 respecto a los niveles de 1990 (Comisión Europea, 2022).

El objetivo por parte de la UE de consumo final de energía renovable ha pasado del 32% al 40%, un salto cuantitativo a 2030 desde el 19,7% actual. La energía eólica y la solar

fotovoltaica serán las tecnologías, ahora con costes bajos y un mercado al alza, que lideren ese incremento (Figura 17).

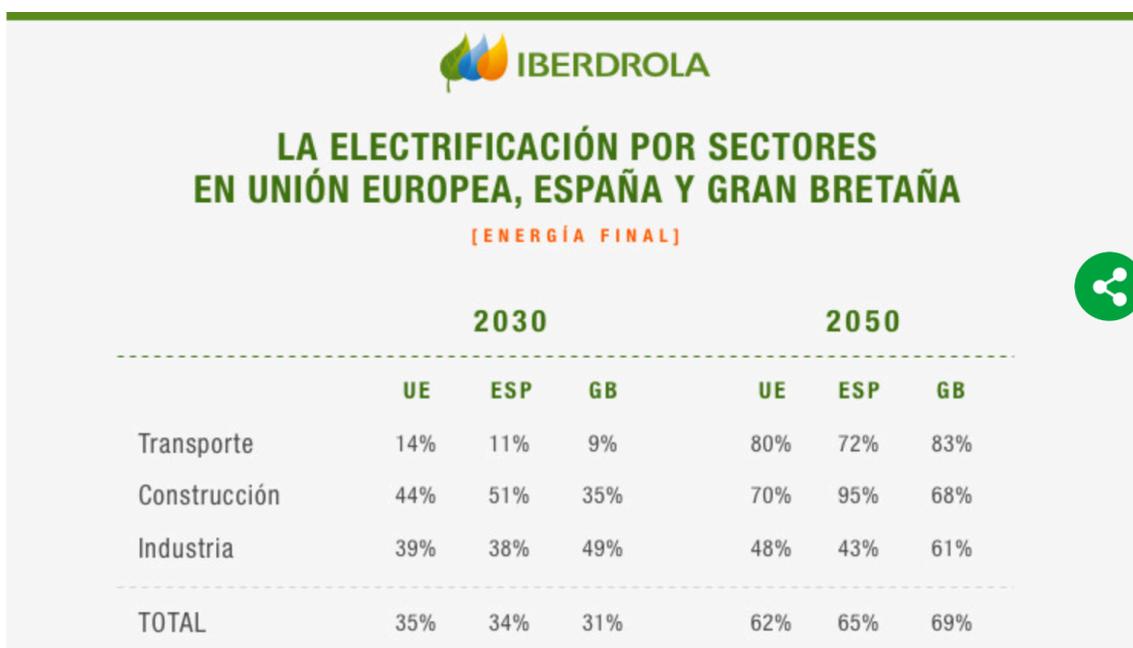


Ilustración 13: Objetivos de la electrificación. Fuente: AFRY

Por otro lado, la situación geopolítica también afecta a la demanda de este material. Por una parte, la distribución geográfica de las reservas de litio y la concentración de estas en pocos países muy específicos pueden crear vulnerabilidades en la cadena de suministro y tensiones geopolíticas que influyan en la demanda de litio.

Recientemente, con la guerra de Ucrania se ha sufrido una crisis del petróleo y gas natural y una subida del precio de estos. Rusia abastece casi una sexta parte del suministro mundial de petróleo y gas. El dominio de Rusia se ha vuelto especialmente evidente en Europa, donde suministra más del 20% del petróleo y más del 30% del gas del continente. Varios países de Europa, como Alemania, Austria, Finlandia, Polonia, Eslovaquia y Hungría, dependen de Rusia en un 50% a un 100% de sus importaciones de petróleo y gas (Accenture, 2022).

Desde la invasión rusa a Ucrania, muchos países se comprometieron a poner fin o al menos reducir sus importaciones del gas ruso. Todo esto lleva a buscar nuevas formas de energía y produce un aumento de la demanda de litio.

La situación económica es un factor que también determina la demanda de litio. En momentos en los que la economía se encuentra en auge, los consumidores tenderán a invertir más en formas de energía nuevas y más sostenibles, lo que hará que la demanda de litio aumente.

Por último, dada la incertidumbre sobre si las reservas actuales de litio podrán cubrir toda la demanda que se espera en los próximos años, se están investigando nuevas alternativas a este compuesto. Recientemente, se ha descubierto que las baterías de iones de sodio podrían ser una alternativa, ya que posee propiedades similares al litio.

Las fluctuaciones en el precio del litio impulsarán la demanda de baterías de sodio para coches eléctricos de gama baja en China. El análisis señala que, para 2035, el sodio podría desplazar unas 272.000 toneladas la demanda de litio, un 7% del mercado general (Bloomberg, 2023).

También existen otras tecnologías, como el hidrógeno verde, que, aunque ahora mismo tiene el problema de que para producirlo se necesita un gasto de energía elevado, se está estudiando como hacer que esto sea rentable y podría ser una alternativa puntera para la descarbonización. Por tanto, a medida que vayan surgiendo nuevas alternativas, la demanda de litio irá disminuyendo y se irá sustituyendo por otros compuestos.

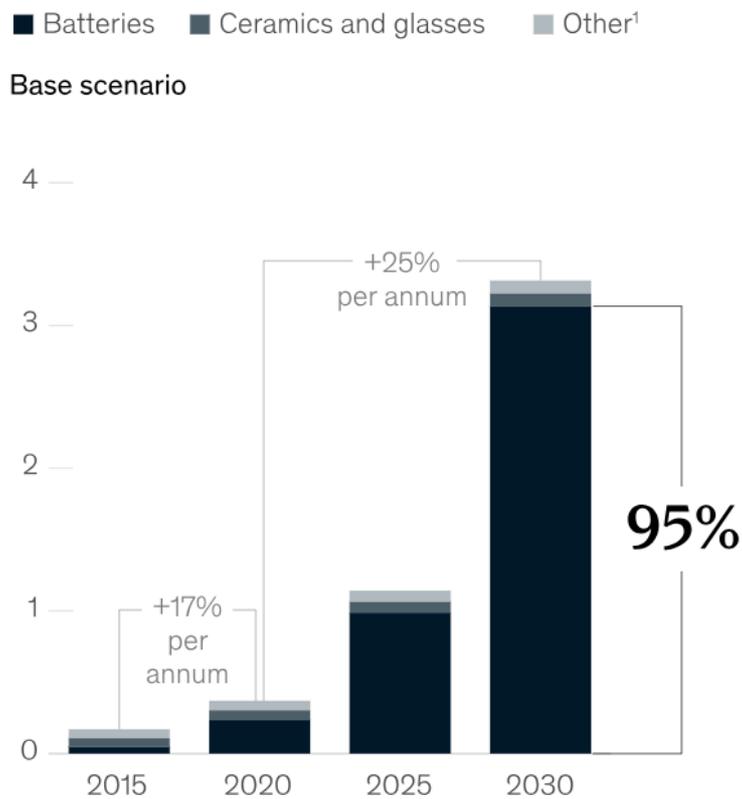
4.3 DEMANDA GLOBAL DE LITIO

El mercado global del litio se valoró en 52\$ billones en 2022 y se prevé que crezca de 194\$ billones en 2030, dados los avances que se están produciendo en el sector de las baterías de almacenamiento y en las baterías de vehículos eléctricos para acelerar la transición energética (Ategi, 2023).

El acuerdo de París de 2022 incluye reducir las emisiones de efecto invernadero un 40% para 2030, lo que ha hecho que muchos países del mundo implementen estrictas medidas para lograr este objetivo, generando un crecimiento en el mercado global del litio.

De acuerdo con los usos del litio, las baterías son las que tienen mayor cuota de mercado, aunque se ha visto perjudicada en los últimos años dada la crisis del COVID-19 y los problemas en las cadenas de suministro. En el año 2015, menos del 30% de la demanda de litio estaba destinada a las baterías; en esta época los principales usos que se le daba eran a productos de cerámicas, vidrios y otras aplicaciones industriales (Figura 18). Para el 2030 se espera que el 95% de la oferta de litio se destine a la fabricación de baterías (Mckinsey, 2015).

Lithium demand by end use, million metric tons lithiu



¹Includes greases, metallurgical powders, polymers, and other industrial uses.
Source: McKinsey lithium demand model

Ilustración 14: Usos del litio hasta 2030. Fuente: Mckinsey

Dado este rápido crecimiento en la demanda y el hecho de que los nuevos proyectos de producción de litio tardan varios años hasta que el litio extraído se pueda usar para la fabricación de baterías, se estima que para 2030 la demanda supere a la oferta en 500.000 toneladas.

Una noticia reciente relacionada con la demanda de litio ocurrió en febrero de 2023, cuando la demanda de este material en la industria automotriz China disminuyó a menos de la mitad. Esto generó cambios drásticos en el precio del litio como se ve en la Figura 19.



Ilustración 15: Evolución del precio del litio 2022 a 2023. Fuente: Asian Metal

Desde diciembre de 2023, la demanda china de litio se desplomó debido a la eliminación de las subvenciones a los vehículos eléctricos, las interrupciones relacionadas con el COVID y el año nuevo chino, lo que provocó cortes en todas las etapas de la cadena de suministro de la industria automotriz. Dado que esto no se tuvo en cuenta y los niveles de producción se mantuvieron constante, se produjo un desajuste entre la oferta y la demanda.

Capítulo 5. MODELADO DEL MERCADO DEL LITIO

5.1 INDICADORES DE LA OFERTA

En este capítulo se define un modelo que busca explicar las fluctuaciones del precio del litio. Para ello, basado en los capítulos anteriores, se inicia con la elección de los indicadores relevantes representativos de la oferta y la demanda de litio.

NIVEL DE PRODUCCIÓN

Este indicador determina la producción de litio mundial cada año desde 2010, siendo la unidad de medida la tonelada. Se observa un pico de producción en el año 2022, liderado por la empresa Albemarle, así como una subida desde el año 2016. La oferta de litio será mayor a medida que el nivel de producción aumente.

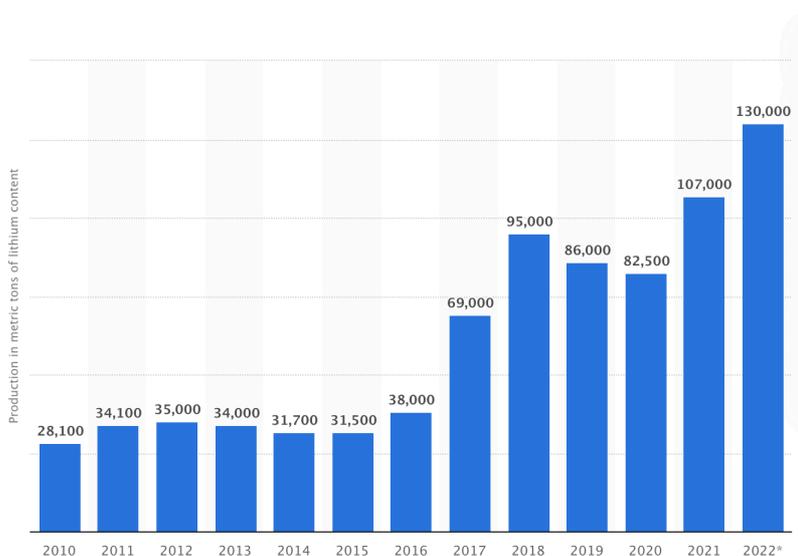


Ilustración 16: Producción de litio de 2010 a 2022. Fuente: Statista

NIVELES DE LAS RESERVAS DE LITIO

Este indicador mide las toneladas de litio disponibles en las reservas anuales desde el año 2010. A medida que se van explorando nuevos lugares donde puede haber litio estos niveles de reserva aumentan.

Las reservas se definen como aquellas minas de las que se puede extraer y producir litio, Chile y Australia son los países que actualmente cuentan con el mayor número de reservas.

Se observa una subida en 2022 por todas las investigaciones que se están realizando para encontrar nuevas minas de litio y así aumentar la oferta de este material.

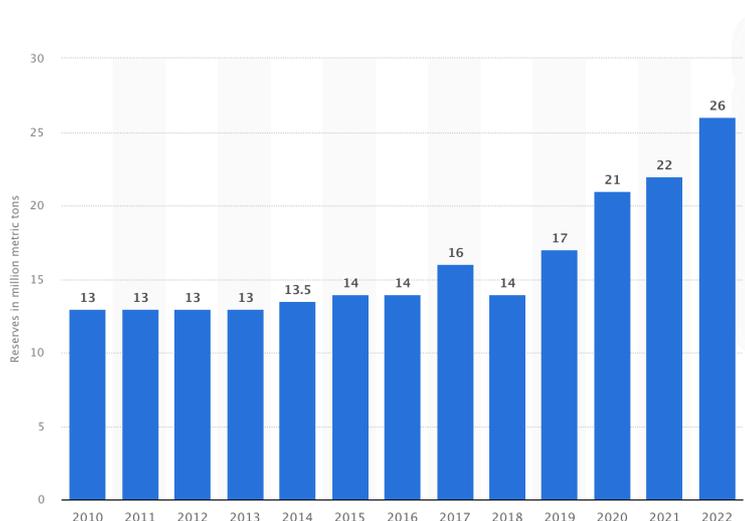


Ilustración 17: Nivel de las reservas de litio de 2010 a 2022. Fuente: Comisión Chilena del Cobre

WU-XIA SHADOW FEDERAL FUNDS RATE

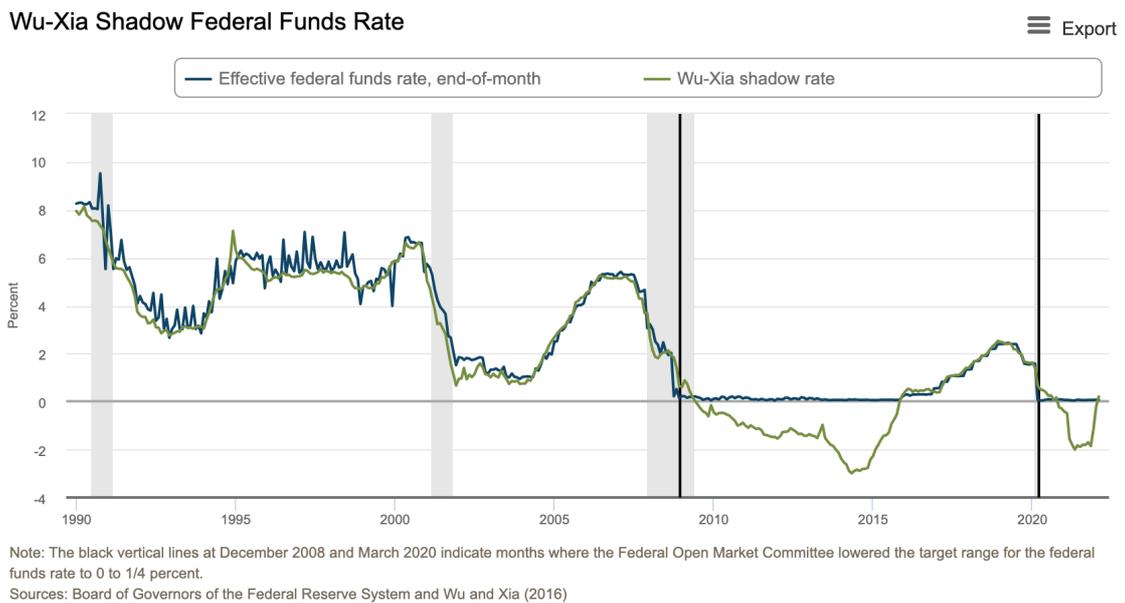
Tras la crisis financiera de 2007-2010, Xia y Wu (2016) desarrollaron el "shadow rate", una estimación de la tasa de interés real o efectiva que resultaría si no existiera un límite inferior a la tasa de interés nominal establecida por los bancos centrales. En otras palabras, el Shadow Rate es una medida que intenta capturar el efecto de las políticas monetarias que han reducido los tipos de interés cercanas a cero o incluso a territorio negativo.

En situaciones de política monetaria expansiva, cuando los tipos de interés nominales se acercan a cero, los bancos centrales pueden enfrentar dificultades para seguir reduciendo aún más los tipos para estimular la economía.

El Shadow Rate se ha vuelto más relevante en el contexto de las políticas de flexibilización cuantitativa y tipos de interés negativos implementados por algunos bancos centrales en respuesta a la crisis financiera global y a la recesión económica. Estas medidas poco convencionales buscan estimular el crédito y el gasto, pero también han llevado a una mayor atención sobre el comportamiento y las implicaciones de los tipos de interés nominales cercanos a cero o negativos.

Cuando el Shadow Rate es inferior al tipo de interés efectivo, se incentiva la inversión, por lo que se facilita el desarrollo de centros de producción de litio y la oferta aumenta.

En la Figura 22 se observa el shadow rate anual desde el año 1990.



Federal Reserve Bank of Atlanta

Ilustración 18: Wu-Xia Rate 1990-2020. Fuente: Federal Reserve Bank of Atlanta

GLOBAL SUPPLY CHAIN PRESSURE INDEX

Este indicador mide el riesgo de interrupción de la cadena de suministro, teniendo en cuenta entre otros factores los tiempos de entrega, los costes de envío etc.

Se observa un indicador alto desde 2020, causado por la crisis COVID-19 y los cierres en China y posteriormente por la guerra entre Rusia y Ucrania.

Cuanto mayor sea el riesgo de interrupción de la cadena de suministro menor será la oferta existente de litio.

El gráfico muestra la desviación estándar del indicador de riesgo de interrupción de la cadena de suministro desde el año 2010.

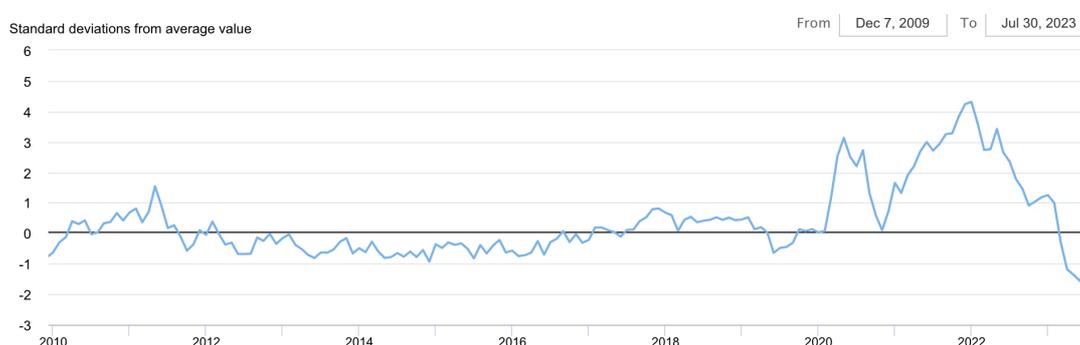


Ilustración 19: Global Supply Chain Pressure Index 2010-2022. Fuente: Federal Reserve Bank of NY

5.2 INDICADORES DE LA DEMANDA

ÍNDICE DE PRECIOS DEL CARBONO

El índice de precio de las emisiones de carbono, también conocido como precio del carbono o precio del carbono por tonelada de CO₂, mide el valor económico asignado a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero. Se utiliza como una herramienta para incentivar la reducción de emisiones y combatir el cambio climático.

El índice de precio de las emisiones de carbono es un indicador importante para evaluar la eficacia de las políticas y medidas destinadas a reducir las emisiones y avanzar hacia una economía baja en carbono. También es relevante para evaluar el costo económico de las emisiones y cómo este puede influir en las decisiones comerciales y de inversión hacia tecnologías más limpias y sostenibles.

Cuanto mayor sean las sanciones económicas debidas a emisiones superiores a las permitidas (que como se observa en la Figura 23 es lo que está sucediendo actualmente), los consumidores invertirán más en movilidad sostenible como coches eléctricos, aumentando así la demanda de estos y del litio necesario para la fabricación de las baterías.



Ilustración 20: Índice de precios del carbono en euros 2010-2022. Fuente: TradingView

INDICADOR DE RIESGO GEOPOLITICO

Dario Caldara y Matteo Iacoviello construyen una medida de acontecimientos geopolíticos adversos y riesgos asociados basada en un recuento de artículos periodísticos que cubren tensiones geopolíticas, y examinan su evolución y efectos económicos desde 1900.

Un mayor riesgo geopolítico anuncia un descenso de la inversión, las cotizaciones bursátiles y el empleo. También se asocia con una mayor probabilidad de desastres económicos y con mayores riesgos para la economía mundial (Dario Caldara y Matteo Iacoviello, 1900).

En la Figura 25 se observa el indicador de riesgo político desde el año 1985.

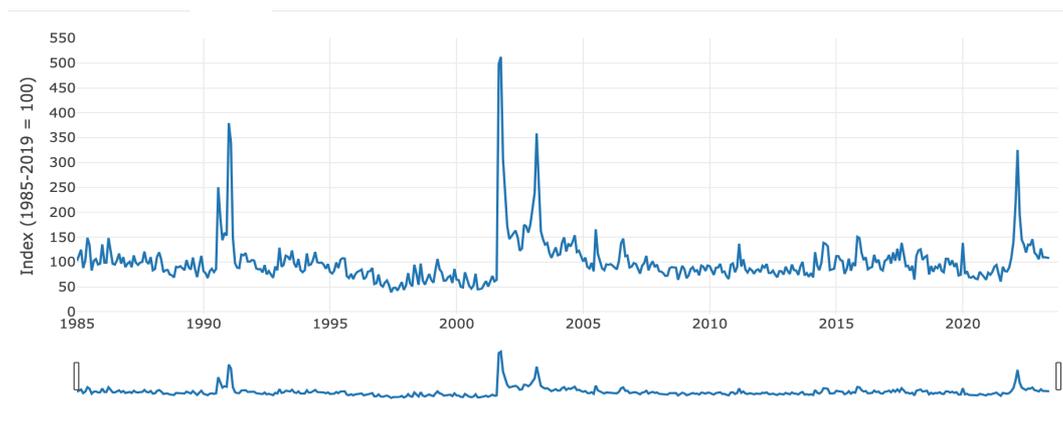


Ilustración 21: Indicador Riesgo Geopolítico 1985-2020

5.3 *MODELO AUTOREGRESIVO VECTORIAL*

Una vez identificadas todas las variables que afectan al precio del litio es necesario un modelo que explique como se ve afectado el precio cuando alguna de estas variables cambia. El modelo usado es un modelo autorregresivo vectorial, el cual es una extensión del modelo de autorregresión de una variable a más de una variable, siendo todas las variables tratadas como endógenas. Este modelo es utilizado cuando se quiere predecir múltiples variables de series temporales utilizando un único modelo, y fue inicialmente propuesto por Sims (Sims, 1980).

Este modelo analiza datos de series temporales que permiten estimar el efecto sobre Y de un cambio en X a lo largo del tiempo, lo que se conoce como un efecto causal dinámico. Este tipo de modelo relaciona una variable de una serie temporal con sus valores anteriores y estima el comportamiento futuro basándose en el comportamiento pasado. La variable de salida depende linealmente de sus valores anteriores y de un término estocástico. El modelo autorregresivo de primer orden utiliza únicamente el resultado más reciente de la serie temporal para predecir los valores futuros.

El modelo de autorregresión de orden p supone que una serie temporal puede modelizarse mediante una función lineal de sus p valores retardados. La variable de salida no depende solo del resultado más reciente de la variable observada, sino también de algunos de los resultados pasados. Se distingue de la ecuación de primer orden en que cuenta con p-1 términos adicionales.

El modelo de autorregresión vectorial amplía la idea de autorregresión univariante a k regresiones de series temporales, en las que los valores retardados de todas las k series aparecen como regresores. En un modelo de autorregresión vectorial realizamos una regresión de un vector de variables de series temporales sobre vectores retardados de estas variables. A continuación, se predice el valor de más de una variable que depende no solo de sus propios valores pasados, sino también de los valores pasados de la otra variable que intentamos predecir.

Nuestro estudio trata de explicar las fluctuaciones del precio del litio basándose en un modelo de autorregresión vectorial donde y_t es un vector de datos mensuales 7×1 , c es un vector 7×1 de interceptos, ϕ_i , $i=1, \dots, p$, son matrices de coeficientes 7×7 con p indicando el número de rezagos (doce en este caso), y u_t son innovaciones de ruido blanco.

En nuestro modelo, la variable y_t incluye el precio del litio y las 7 variables mencionadas en el apartado anterior: nivel de producción de litio, nivel de las reservas de litio, tasa de interés Wu-Xia 2016, riesgo de interrupción de la cadena de suministro, índice de precio a las emisiones de carbono, indicador de riesgo geopolítico e indicador de riesgo climático. Por tanto, el modelo pretende estimar el precio del gas natural en función de los datos de las series temporales de estas siete variables.

Capítulo 6. RESULTADOS DEL MODELO

En este capítulo se analizarán la respuesta dinámica del precio del litio cuando ocurre un cambio en una de las 7 variables identificadas como las que más afectan al precio.

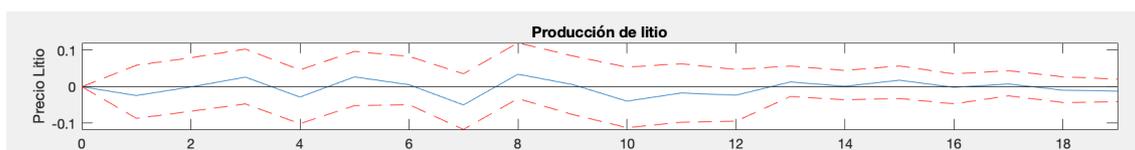


Ilustración 22: Evolución del precio del litio frente a la producción. Fuente: Elaboración propia

Un aumento en la producción de litio conlleva una reducción del precio del litio en el corto plazo puesto que aumenta la oferta, a continuación, va aumentando en los siguientes periodos hasta que se estabiliza a sus niveles anteriores del cambio en el nivel de producción tras 12 periodos.

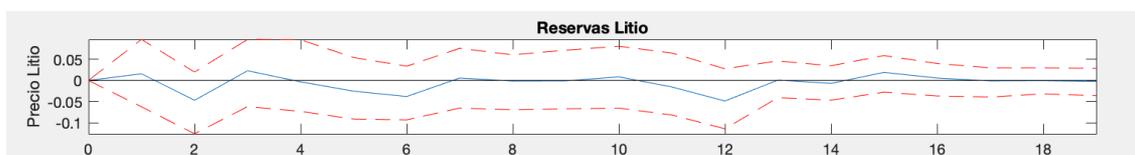


Ilustración 23: Evolución del precio del litio respecto a las reservas. Fuente: Elaboración propia

Respecto a la relación entre un cambio en las reservas del litio y su precio, cuando se descubren nuevas reservas y se produce un aumento de ellas, el precio del litio baja inmediatamente para posteriormente ir estabilizándose a sus valores anteriores, lo que puede deberse a que un aumento de las reservas no significa necesariamente un aumento de la oferta debido al tiempo que se necesita para que se vea reflejado en la oferta existente.

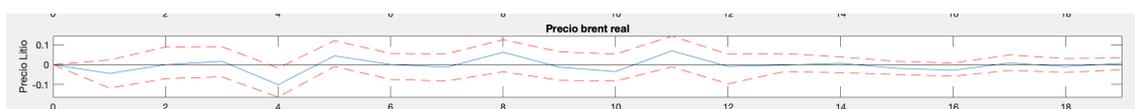


Ilustración 24: Evolución del precio del litio respecto al precio del Brent. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la relación entre el precio del petróleo y el precio del litio, en el corto plazo una subida del precio del petróleo hace que suba también el precio del litio. Esto puede deberse a que, si sube el precio del petróleo, se genera más interés por las energías

renovables y por vehículos eléctricos, lo que aumenta la demanda de baterías y provoca una subida del precio del litio.

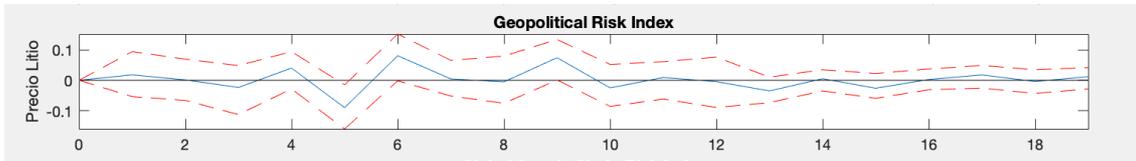


Ilustración 25: Evolución del precio del litio respecto al riesgo geopolítico. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a como afecta el índice de riesgo geopolítico al precio, cuando el riesgo geopolítico a nivel global aumenta, en un principio no afecta hasta los periodos del 4 al 10, aunque el efecto que tiene es muy pequeño, casi despreciable.

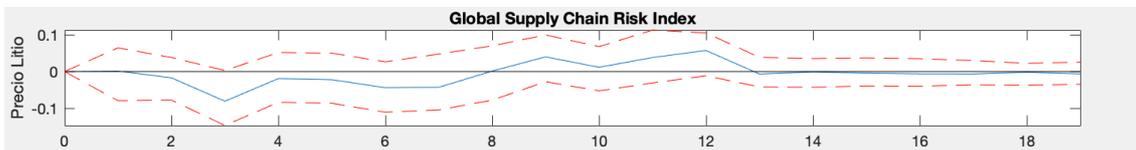


Ilustración 26: Evolución del precio del litio respecto el riesgo de interrupción de la cadena de suministro. Fuente: Elaboración propia

El efecto de un cambio en el riesgo de interrupción de la cadena de suministro en el precio se observa desde los primeros periodos. Cuando el riesgo aumenta, el precio también lo hace por la probabilidad que existe de una reducción de la oferta de litio, aunque el efecto que produce no es muy destacable. El precio vuelve a sus valores originales tras 13 periodos.

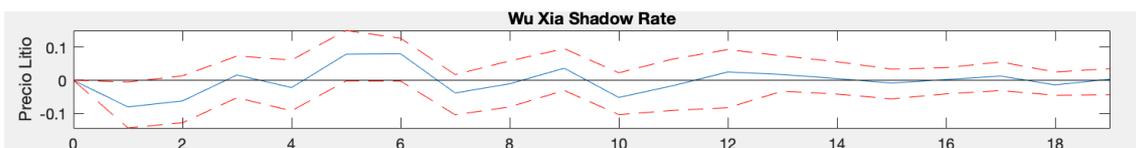


Ilustración 27: Evolución del precio del litio respecto el Wu Xia Shadow Rate. Fuente: Elaboración propia

Cuando la tasa de interés Wu_Xia aumenta, lo que hace que aumente también el coste del crédito y hace que los préstamos sean más caros tanto para los negocios como para los consumidores, el precio del litio no sufre un cambio significativo, experimentando subidas y bajadas hasta que se estabiliza en torno al periodo doce.

Capítulo 7. DESCOMPOSICIÓN HISTÓRICA

La descomposición histórica proporciona una interpretación de las fluctuaciones históricas en la serie temporal modelada y resume la evolución de cada variable. Este gráfico responde a la pregunta de, dado el modelo estimado, cual es la secuencia de impactos que es capaz de replicar la serie temporal del precio del litio. Da información sobre que parte de la desviación del precio del litio se debe a cada impacto.

El precio del litio ha experimentado numerosas subidas y bajadas en los últimos tiempos. A principios de los 2000, este material tenía un precio estable por debajo de los 1850 \$/t, este valor se fue incrementando a partir de la segunda mitad de la década igual que lo hacía el precio de otras commodities provocado por un aumento de la inversión debido a los precios bajos y a la gran rentabilidad que ofrecían.

Australia duplicó su producción entre 2009 y 2011, Chile y Argentina incrementaron su actividad y China aumento su capacidad de procesamiento. En el 2008 el litio alcanzo los 4300\$/t LCE y hasta 2015 el precio osciló entre el valor anterior y 5500\$/t.

A partir del año 2015, como consecuencia del aumento de la demanda de los vehículos eléctricos y debido a que los nuevos proyectos de producción de litio que se estaban desarrollando no serían verdaderamente útiles para cubrir la demanda hasta pasados mínimo 3 años, la oferta existente no era suficiente lo que causó un mercado desequilibrado y una subida del precio del metal, que se mantuvo hasta finales de 2018, alcanzando un precio de 16500\$/t. Tres años después de la construcción de nuevas plantas de producción en Australia y Argentina, la oferta de litio fue aumentando y era capaz de abastecer al mercado.

La crisis COVID-19 encareció todas las materias primas debido a interrupciones en las cadenas de suministro y una oferta más restringida. Además, la preocupación por la transición energética y tecnologías más limpias hizo que la demanda de vehículos eléctricos y por consecuencia de litio creciera exponencialmente. Los precios del carbonato de litio aumentaron un 437% desde el 2021 al 2022, alcanzando los 47.000\$/t y los del hidróxido de litio un 254% (S&P Global y Trading Economics, 2022). En ese

momento, las ventas globales de vehículos eléctricos fueron de 6,3 millones en 2021, casi el doble de 2020 (Bloomberg, 2022).

Tras la fiebre de 2022, los precios del litio volvieron a sufrir una bajada de casi el 50%, provocando incluso la paralización de la industria minera en China. Detrás de este nuevo desplome del precio está una bajada en la venta de coches eléctricos de China debido al fin de las ayudas por parte del gobierno para la compra de este tipo de vehículos, tras llegar a su máximo en 2022. La bajada del precio del litio provocará también una caída en los precios de los vehículos eléctricos y todos los productos que contengan baterías de litio (Bloomberg, 2023).

El problema principal, como ya se ha comentado, es la poca capacidad de reacción que tiene el mercado de litio ante subidas y bajadas repentinas de la demanda, ya que no se puede regular la oferta inmediatamente y ajustar el mercado por lo complejas que son las plantas de producción. Cuando la demanda sube, los fabricantes incrementan su capacidad de producción, pero esta no se verá reflejada en la oferta hasta pasados unos años, lo que lleva a problemas de desajuste oferta-demanda.

La figura a continuación representa la descomposición histórica del precio del litio.

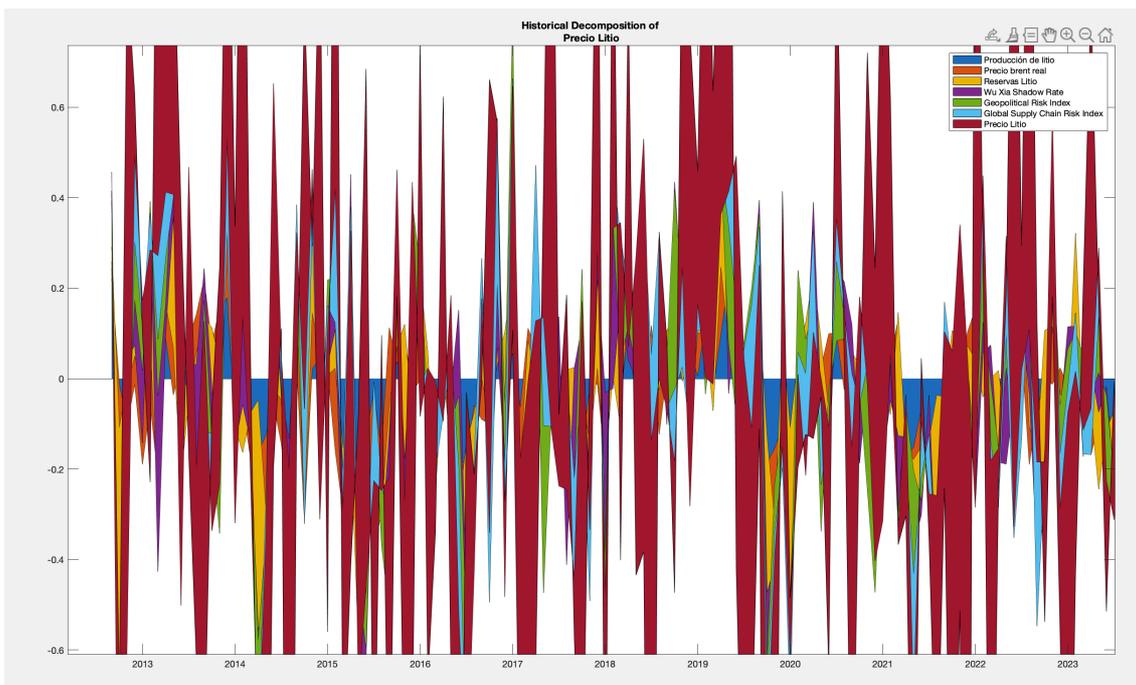


Ilustración 28: Descomposición histórica del precio del litio

A primera vista, la producción de litio es la variable que parece ser la más significativa a la hora de explicar las fluctuaciones históricas del precio del litio. La producción del litio es una de las variables que más afectan a la oferta de este material y por consecuencia a su precio.

Se observa que el riesgo de interrupción de la cadena de suministro es una de las variables que más afecta a la fluctuación del precio, especialmente en los últimos años de 2017 a 2020, donde debido a la crisis del COVID-19 y diversos factores geopolíticos que afectaron a todas las cadenas de suministro a nivel global.

El precio del petróleo no tiene un gran impacto en el precio del litio; tan sólo es relevante en los últimos años, debido a las crecidas de precio que ha experimentado este material por la crisis de Ucrania, lo que ha llevado a muchos consumidores a cambiarse a tecnologías más limpias.

La política monetaria, que se ve reflejada en la tasa de interés, como se esperaba de los resultados del modelo del capítulo anterior no tiene apenas relevancia en el modelo. Los cambios en la política monetaria a lo largo de la historia no han provocado cambios significativos en el precio del litio.

Hasta ahora, las reservas de litio no han afectado de manera significativa al precio del litio, ya que siempre han sido suficientes para abastecer a toda la demanda. A día de hoy, las reservas de litio siguen aumentando ya que se descubren yacimientos constantemente y se está invirtiendo en mejorar su proceso de extracción y procesamiento. En el momento que estas reservas empiecen a bajar, se espera que esta variable sea de las más influyentes en el precio del litio.

El indicador de riesgo geopolítico ha tomado importancia en los últimos años, lo que puede deberse a la crisis del COVID-19, la guerra de Ucrania o las relaciones con China, que es uno de los países que más baterías de litio producen.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

A continuación, se presentan las conclusiones y resultados más relevantes obtenidas a lo largo de la realización de este trabajo.

El litio es un elemento que se ha convertido en un recurso muy significativo en la economía moderna debido a su versatilidad y diversas aplicaciones en la industria. La evolución del precio del litio ha sido un tema de interés constante en las últimas décadas, ya que este mineral despierta una creciente demanda en una variedad de sectores industriales clave. La creciente preocupación por la transición energética y la demanda de tecnologías más limpias ha hecho que este elemento cobre un papel fundamental en la lucha contra la descarbonización.

El litio es un componente fundamental en la fabricación de baterías de iones de litio, que se utilizan en una amplia gama de dispositivos electrónicos, desde teléfonos móviles y computadoras portátiles hasta herramientas eléctricas y sistemas de almacenamiento de energía en hogares y empresas. La razón detrás de su popularidad radica en su capacidad para almacenar y liberar energía de manera eficiente y sostenible.

En el sector automotriz, el litio es un componente esencial de las baterías utilizadas en vehículos eléctricos, que están ganando terreno como una alternativa más limpia a los vehículos de combustión interna. El crecimiento de la movilidad eléctrica ha llevado a un aumento significativo en la demanda de litio y ha influido en la dinámica de precios. El litio también se emplea en la fabricación de vidrios y cerámicas especiales, especialmente en aplicaciones que requieren propiedades de alta temperatura y durabilidad.

La oferta de litio se deriva principalmente de dos fuentes clave: la minería de minerales de litio y la extracción de salmuera de litio de salares, siendo Chile y Argentina importantes actores en esta última modalidad de producción. La extracción de litio de la salmuera es especialmente relevante en la industria global del litio, representando una parte significativa de la producción mundial.

A lo largo de los años, la oferta de litio ha experimentado un crecimiento significativo en respuesta a la creciente demanda de baterías de iones de litio, que se utilizan en dispositivos electrónicos, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía. Sin embargo, la expansión de la producción de litio se ha enfrentado a diversos obstáculos, como los costos de producción, las preocupaciones medioambientales y las regulaciones gubernamentales.

La demanda de litio ha sido impulsada principalmente por el auge de los vehículos eléctricos (VE) y la transición hacia una economía más sostenible. Las baterías de iones de litio se han convertido en la tecnología preferida en la industria de VE debido a su alta densidad energética y durabilidad. Esto ha llevado a un aumento constante en la demanda de litio, ya que los fabricantes de automóviles eléctricos buscan garantizar un suministro constante de este elemento.

Según un informe de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), la demanda de litio aumentará a más de 1 millón de toneladas en 2025, desde las 300.000 toneladas de 2022 y este crecimiento se debe a la creciente demanda de baterías para vehículos eléctricos, que se espera que representen el 75% de la demanda de litio en 2025.

Los precios del litio han experimentado fluctuaciones significativas a lo largo de los años. Los desequilibrios entre la oferta y la demanda han sido la causa detrás de estos cambios de precio, ya que la alta demanda y la limitada oferta a veces han provocado aumentos significativos.

Los avances tecnológicos también han influido en la dinámica de precios del litio. Las mejoras en la eficiencia de la producción y la tecnología de baterías pueden reducir los costos de producción y, en consecuencia, impactar los precios.

Además, las políticas gubernamentales y las relaciones comerciales internacionales pueden desempeñar un papel importante en los precios del litio. Los cambios en las regulaciones y las restricciones de exportación pueden afectar la disponibilidad del material.

Por último, la presión para que la industria del litio sea más sostenible desde el punto de vista ambiental ha llevado a la adopción de prácticas más responsables. Si bien esto es un

paso positivo para la sostenibilidad, puede generar costos adicionales que se reflejan en los precios.

Dada la incertidumbre actual que existe sobre si la oferta del litio en unos años será suficiente para abastecer a la creciente demanda, se han analizado cuales son las variables que más afectan a su precio.

Para modelar el precio del litio, se ha construido un modelo en MATLAB usando ocho variables que podrían afectar tanto a la oferta como a la demanda y por ello al precio: producción de litio, precio del petróleo, nivel de las reservas de litio, tasa de interés de Wu_Xia, indicador de riesgo geopolítico, riesgo de interrupción de la cadena de suministro y tasa de las emisiones de carbono.

Tras analizar los efectos en el precio del litio dado un cambio en cada una de estas variables, se observa que las variables que más afectan al precio son los niveles de producción y el riesgo de interrupción de la cadena de suministro. La tasa de interés y el precio del petróleo no parecen tener un gran impacto en el precio del litio en este primer análisis.

El nivel de reserva, que a priori podría tener un peso relevante, hasta ahora no ha sido significativo dado que las reservas eran muy elevadas. Habría que ver si en unos años, a medida que aumente la demanda, esta variable empieza a tomar más peso y si las reservas existentes son suficientes para cubrir toda la demanda futura.

Como trabajo futuro, se podrían estudiar otras variables que también podrían afectar como el nivel de ayudas a nivel nacional y europeo para promover un cambio a tecnologías más limpias o la aparición de otros compuestos como el hidrógeno que podrían restar demanda al litio.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

Liboreiro, J. (2022b, abril 15). ¿Tiene Europa suficiente litio para acabar con su adicción al petróleo? *euronews*. <https://es.euronews.com/my-europe/2022/04/15/tiene-europa-suficiente-litio-para-acabar-con-su-adiccion-al-petroleo>

Salazar-Xirinachs, J. M., Salazar-Xirinachs, J. M., & Salazar-Xirinachs, J. M. (2023, 8 julio). Extracción e industrialización del litio en América Latina y el Caribe: oportunidades y desafíos. *El País Chile*. <https://elpais.com/chile/2023-07-08/extraccion-e-industrializacion-del-litio-en-america-latina-y-el-caribe-oportunidades-y-desafios.html>

Pasquali, M. (2022, 16 agosto). ¿Qué países son líderes en producción de litio? *Statista Daily Data*. <https://es.statista.com/grafico/27985/los-paises-lideres-en-produccion-de-litio/>

Extracción y refinado de litio mediante cristalización. (2023, 12 septiembre). Condorchem Enviro Solutions. <https://condorchem.com/es/blog/extraccion-cristalizacion-procesos-obtencion-compuestos-litio/>

Extracción y recuperación de litio y reciclaje de baterías. (2022, 29 marzo). Condorchem Enviro Solutions. <https://condorchem.com/es/blog/extraccion-recuperacion-litio/>

Jung, H., Engle, R. F., & Berner, R. (2021). Climate stress testing. *Social Science Research Network*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3931516>

The Volatility Laboratory. (s. f.). *V-Lab: Climate Risk Analysis Summary*. <https://vlab.stern.nyu.edu/climate>

Admin. (2021, 3 septiembre). ¿Qué pasa con los precios del litio? WordPress.com. <https://fundacionsolon.org/2021/08/12/que-pasa-con-los-precios-del-litio/>

Bellato, R. (2023, 29 septiembre). Por qué subió exponencialmente el precio del litio y qué pasará en 2023 • econojournal.com.ar. *econojournal.com.ar*. <https://econojournal.com.ar/2023/01/por-que-subio-exponencialmente-el-precio-del-litio-y-que-pasara-en-2023/>

Ceo, P. (2023, 16 febrero). ¿Cómo se extrae el litio? estos son las 2 formas viables para aprovecharlo. EL CEO. <https://elceo.com/economia/como-se-extrae-el-litio-estos-son-las-2-formas-viables-para-aprovecharlo/>

Quintero, V. (s. f.). *Baterías de ion litio: características y aplicaciones*. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3392002003/html/index.html>

Azevedo, M., Baczyńska, M., Hoffman, K., & Krauze, A. (2022, 12 abril). *Lithium Mining: How new production technologies could fuel the global EV Revolution*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/lithium-mining-how-new-production-technologies-could-fuel-the-global-ev-revolution>

Lithium Market outlook: Five key factors to watch - FastMarkets. (2023, 30 marzo). Fastmarkets. <https://www.fastmarkets.com/insights/lithium-market-outlook-five-key-factors-to-watch>

Lithium Market Size, Share, Value | Forecast Analysis [2030]. (s. f.). <https://www.fortunebusinessinsights.com/lithium-market-104052>

Scheyder, E. (2023, 22 junio). Lithium producers warn global supplies may not meet electric vehicle demand. *Reuters*. <https://www.reuters.com/markets/commodities/lithium-producers-warn-global-supplies-may-not-meet-electric-vehicle-demand-2023-06-22/>

González, M. (2023, 22 abril). La fiebre del litio llega a su fin: estas son las causas de que su precio haya caído un 70%. *elEconomista.es*. <https://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/12239550/04/23/la-fiebre-del-litio-llega-a-su-fin-estas-son-las-causas-de-que-su-precio-haya-caido-un-70-.html>

Global Lithium Production 2022 | Statista. (2023, 30 octubre). Statista. <https://www.statista.com/statistics/606684/world-production-of-lithium/>

Statista. (2023, 30 octubre). *Global Lithium Reserves 2010-2022*. <https://www.statista.com/statistics/1253739/lithium-reserves-worldwide/>

Statista. (s. f.). *Statista - the statistics portal*. <https://www.statista.com/search/?q=lithium&Search=&p=2>

Wu-Xia shadow federal funds rate. (s. f.). Federal Reserve Bank of Atlanta. <https://www.atlantafed.org/cqer/research/wu-xia-shadow-federal-funds-rate>

Trevordelaney. (2023, 24 agosto). *Global Supply Chain Pressure Index: The China Factor - Liberty Street Economics*. Liberty Street Economics. <https://libertystreeteconomics.newyorkfed.org/2023/01/global-supply-chain-pressure-index-the-china-factor/>

Gráfico del precio de futuros de emisiones de carbono - Investing.com. (s. f.). Investing.com Español. <https://es.investing.com/commodities/carbon-emissions-streaming-chart>

García, G. (2023, 11 julio). El precio de litio se desplomará en 2024: estamos más cerca de los coches eléctricos baratos. *Híbridos y Eléctricos*. https://www.hibridosyelectricos.com/coches/precio-litio-se-desplomara-en-2024-estamos-mas-cerca-coches-electricos-baratos_69964_102.html

Belinchón, F., Belinchón, F., & Belinchón, F. (2023, 21 abril). El precio del litio se hunde casi un 50%: la tormenta que azota al elemento clave de las baterías tras la fiebre de 2022. *Cinco Días*. <https://cincodias.elpais.com/economia/2023-04-21/el-precio-del-litio-se-hunde-casi-un-50-tras-la-fiebre-de-2022-la-tormenta-que-azota-al-elemento-clave-de-las-baterias.html>

Ategi. (2023, 26 junio). *Ategi*. <https://ategi.com/2023/06/26/la-demanda-de-litio-se-disparara-y-ademas-el-80-de-la-produccion-se-concentra-en-solo-2-paises/>

Global Supply Chain Pressure Index. (s. f.). <https://www.newyorkfed.org/research/policy/gscpi#/overview>

Impacto de la guerra en Ucrania en la industria del petróleo y gas. (s. f.). [Vídeo]. Accenture. <https://www.accenture.com/es-es/insights/energy/ukraine-oil-gas>

Martínez, M. (2023, 17 julio). Ingeteam prevé desarrollar 2 GW en proyectos solares en Australia. *elEconomista.es*. <https://www.economista.es/energia/noticias/12370057/07/23/ingeteam-preve-desarrollar-2-gw-en-proyectos-solares-en-australia.html>

Evolución del precio histórico del petróleo Brent - Investing.com. (s. f.). Investing.com Español. <https://es.investing.com/commodities/brent-oil-historical-data>

ANEXO-Código MATLAB

```
opts = spreadsheetImportOptions("NumVariables", 8);

% Specify sheet and range
opts.Sheet = "Hoja1";
opts.DataRange = "A2:H165";

% Specify column names and types
opts.VariableNames = ["DATE", "PRODUCCION_LITIO", "Precio_brent_real", "RESERVAS_LITIO",
"WU_XIA_SHADOW_RATE", "Geopolitical_Risk_Index", "Global_SupplyChain_RiskIndex",
"Precio_litio_real"];
opts.VariableTypes = ["datetime", "double", "double", "double", "double", "double", "double", "double"];

% Specify variable properties
opts = setvaropts(opts, "DATE", "InputFormat", "");

% Import the data
data = readtable("/Users/carlotarodriguezhebles/Desktop/DATA.xlsx", opts, "UseExcel", false);

%% Clear temporary variables
clear opts

clear opts

p = 12; % Lags del modelo (12 por default o según la
literatura que habéis revisado)
start_date = 2010; % Poner a ±0 y mes donde empiezan los datos
(p.e. Marzo de 1975) - ene == 1975

dataV = data.PRODUCCION_LITIO;
Variable_name = [{"Producción de litio"}];

dataV(:, end+1) = data.Precio_brent_real;
Variable_name(end+1) = [{"Precio brent real"}];

dataV(:, end+1) = data.RESERVAS_LITIO;
Variable_name(end+1) = [{"Reservas Litio"}];

dataV(:, end+1) = data.WU_XIA_SHADOW_RATE;
Variable_name(end+1) = [{"Wu Xia Shadow Rate"}];

dataV(:, end+1) = data.Geopolitical_Risk_Index;
Variable_name(end+1) = [{"Geopolitical Risk Index"}];

dataV(:, end+1) = data.Global_SupplyChain_RiskIndex;
Variable_name(end+1) = [{"Global Supply Chain Risk Index"}];

dataV(:, end+1) = data.Precio_litio_real;
Variable_name(end+1) = [{"Precio Litio"}];

%dataV(:, end+1) = data.Natural_Gas_Europe_yoy;
%Variable_name(end+1) = [{"Nat gas"}];
```

```

Shock_name = Variable_name;

first_row = 232; % 01/01/04
last_row = 396; % 01/12/22
%last_row = 360; % 01/12/19

Y = randn(600,7);
%heatmap(corrcoef(Y));

%% Check by plotting input variables

ncol = size(Y, 2);
figure()

for i = 1:ncol
    subplot(2,round(ncol/2), i)
    plot(Y(:,i));
    title(Variable_name(i))
end

%% Parámetros del modelo

[T,N] = size(Y); % Lee el tamaño de la muestra y número de variables

%% Estimación de funciones impulso respuesta

mdl = varm(N,p); % Definir modelo
[EstMdl,~,~,Error] = estimate(mdl,Y); % Estimar modelo
[response,lower,upper] = irf(EstMdl); % Estimar funciones impulso respuesta del modelo

horizon = 0:size(response,1)-1; % Definir el horizonte de las IRF

figure('WindowState','maximized')
for k = 1:N
    for j = 1:N
        subplot(N,N,j+N*(k-1))

            plot(horizon,response(:,j,k)) % Plotear la respuesta media
            hold on
            plot(horizon,zeros(size(horizon,2),1),'k-') % Plotear la línea de zeros
            axis tight
            hold on
            plot(horizon,lower(:,j,k),'r--') % Plotear el intervalo de confianza inferior
            hold on
            plot(horizon,upper(:,j,k),'r--') % Plotear el intervalo de confianza superior

            ylabel(Variable_name{1,k}) % Colocar el nombre de la variable de
respuesta
            title(Shock_name{1,j}) % Colocar el nombre del shock
            axis tight
        end
    end
end

%% Plots only for last variable (price)

figure('WindowState','maximized')
for k = 1:N

```

```

for j = N:N
    subplot(N,1,k)

    plot(horizon,response(:,j,k))           % Plotear la respuesta media
    hold on
    plot(horizon,zeros(size(horizon,2),1),'k-') % Plotear la línea de zeros
    axis tight
    hold on
    plot(horizon,lower(:,j,k),'r--')       % Plotear el intervalo de confianza inferior
    hold on
    plot(horizon,upper(:,j,k),'r--')       % Plotear el intervalo de confianza superior

    title(Variable_name{1,k})             % Colocar el nombre de la variable de respuesta
    ylabel(Shock_name{1,j})               % Colocar el nombre del shock
    axis tight
end
end

```

%% Historical Decomposition

```

B0 = chol(EstMdl.Covariance);             % Estimar la matriz de respuesta
instantanea = Error*inv(B0);              % Estimar los shocks históricos

sample = size(shocks,1)-size(horizon,2);  % Definir el sample que nos queda

Historical_Decomp = nan(sample,N,N);      % Matriz vacía para estimar las
historical decompositions

for k = 1:N
    for t = 1:sample

        Historical_Decomp(t,:,k) = sum(response(:,:,k).*... % Estimación de la historical
            flipud(shocks(t:t+size(horizon,2)-1,:))); decompositions

    end
end
%limite_fecha=2024;
DATES = start_date:1/12:start_date+T/12-1/12; % Vector de fechas de los datos

DATES = DATES(end-size(Historical_Decomp,1)+1:end); % Eliminar fechas donde
perdemos observaciones

for k = 1:N
    figure('WindowState','maximized')
    area(DATES,Historical_Decomp(:,:,k))
    legend(Shock_name)
    title(['Historical Decomposition of ' Variable_name{1,k}])
    axis tight
end

```

