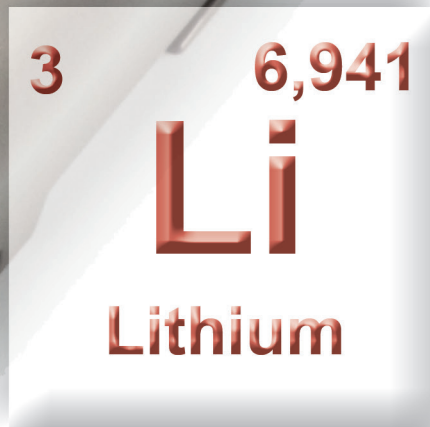


# litio

Información sobre sostenibilidad



## DE UN VISTAZO



Figura 1: Extracción, procesamiento y procesamiento posterior (hasta carbonato de litio) presentados para el litio de salmuera y roca sólida, así como puntos críticos desde una perspectiva de sostenibilidad.

- Como elemento central de las baterías de iones de litio (LIB), el litio es indispensable para la electromovilidad y los dispositivos electrónicos móviles y se espera que aumente la demanda.
- El mayor valor añadido radica en el procesamiento posterior del carbonato de litio y otras materias primas en las baterías.
- Los pasos de preparación y procesamiento posterior en la extracción y procesamiento en carbonato de litio difieren para la extracción de sales (principalmente Chile y Argentina) o roca sólida (principalmente Australia).
- La mayor parte de la producción actual (88% de la producción mundial [1]) tiene lugar en países que tienen una regulación comparativamente buena del sector minero.
- En el caso de la producción de sales, el consumo de agua es particularmente importante, ya que alrededor de 200 – 1000 m<sup>3</sup> El agua debe promoverse para producir 1 t de carbonato de litio.
- Actualmente, y probablemente también en un futuro mediano, el reciclaje solo puede hacer una contribución comparativamente pequeña para cubrir la demanda.

**CONTENIDO**

1. Relevancia del litio	página 3
2. Del depósito a la materia prima	página 3
3. Reciclaje	página 7
4. Aspectos de sostenibilidad de la extracción y procesamiento de litio	página 8

## 1 RELEVANCIA DEL LITIO

El uso clásico del litio fue en la industria del vidrio y la cerámica y en la producción de lubricantes hasta la década de 1990. Los concentrados minerales utilizados consisten principalmente en el mineral espodumeno o el mineral petalita.

En la industria del vidrio y la cerámica, el litio reduce el punto de fusión. Además, se reduce la viscosidad, lo que aumenta la procesabilidad de los fundidos de vidrio. Además, el litio como aditivo aumenta la dureza y la durabilidad de los vidrios, que están expuestos a altas fluctuaciones de temperatura y deben protegerse para que no se rompan demasiado rápido, p. B. con vitrocerámica.

El litio también se utiliza como metal de aleación, aunque las proporciones en la aleación son relativamente pequeñas. En la aleación, tiene un efecto particularmente positivo sobre el peso y la resistencia. Actualmente, la principal aplicación del litio se encuentra en las baterías recargables de iones de litio (LIB), con una fuerte tendencia al alza. Por tanto, actualmente es indispensable para los objetivos de la transición energética. Del estudio DERA [2] se derivó que la demanda de litio en 2025 rondará las 80.000 t/a tras un aumento medio de la demanda para la producción de baterías y otras aplicaciones (Fig. 2). El motor de crecimiento más importante en el uso de LIB es la electromovilidad, que ya mostró un crecimiento significativo en los años de 2015 a 2019 (Fig. 3). Ya hoy es evidente que se superarán las previsiones de 2017 para el año 2025.

Por sus propiedades específicas, el litio representa un importante

Componente indispensable Se utiliza en los acumuladores tanto en el electrolito como en el ánodo y el cátodo. Sin embargo, la distribución dispersa en la batería dificulta su reciclaje. De todos los metales, el litio tiene el potencial electroquímico más alto (-3,05 V) y la capacidad específica de peso más alta (3860 Ah/kg). En comparación con otros tipos de baterías, la densidad de energía de las LIB es la más alta con aproximadamente 250 Wh/kg, el ciclo de vida es el más largo, el rango de temperatura es el más amplio y la tasa de autodescarga es de 1-2% por año el más bajo [5].

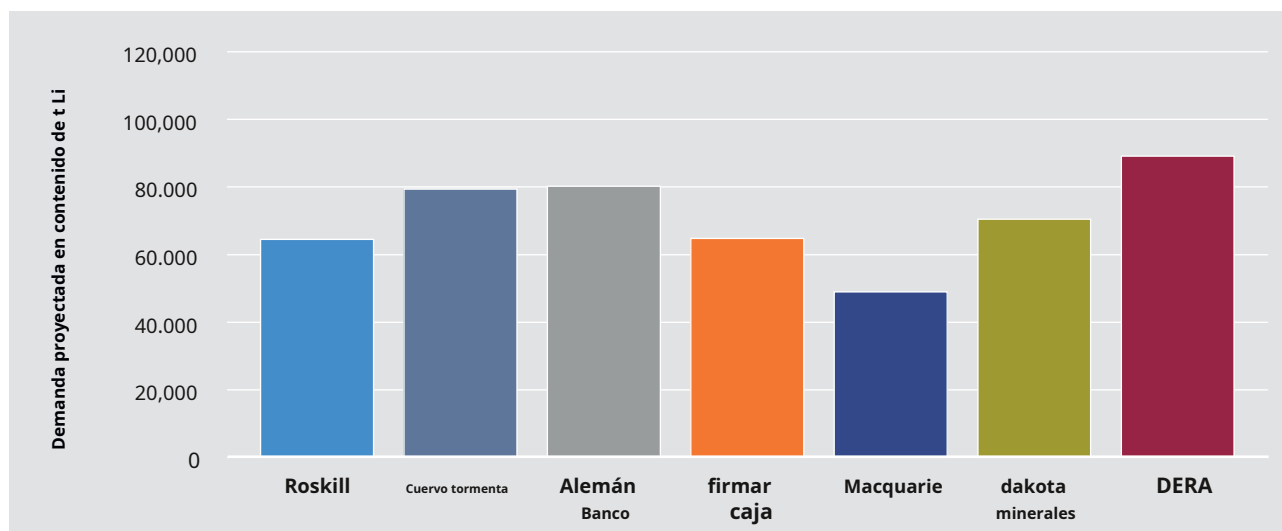
## 2 DESDE EL DEPÓSITO HASTA MATERIA PRIMA

En la producción de litio (carbonato) se distinguen dos procesos de producción (Fig. 1):

- 1.) Extracción de roca madre y enriquecimiento en concentrados
- 2.) Extracción de salmueras que contienen litio (sales)

Luego, el carbonato de litio generalmente se extrae de las salmueras (sales) o concentrados (pegmatitas) que contienen litio (a veces también directamente del hidróxido de litio), que luego se procesa más.

Chile dominaba hasta hace unos años el mercado del litio con un promedio del 42% de la producción mundial (2000 -2016). Durante este período, la producción aumentó de 6.500 t a 14.500 t de litio (Li contenido). Durante el mismo período, Australia aumentó la producción de casi 2.000 t a 16.000 t. Desencadenado por una inversión muy fuerte en el sector australiano



**Figura 2:** Demanda mundial proyectada de litio en 2025. Las previsiones de las distintas empresas y organizaciones son a partir de 2017 [2].

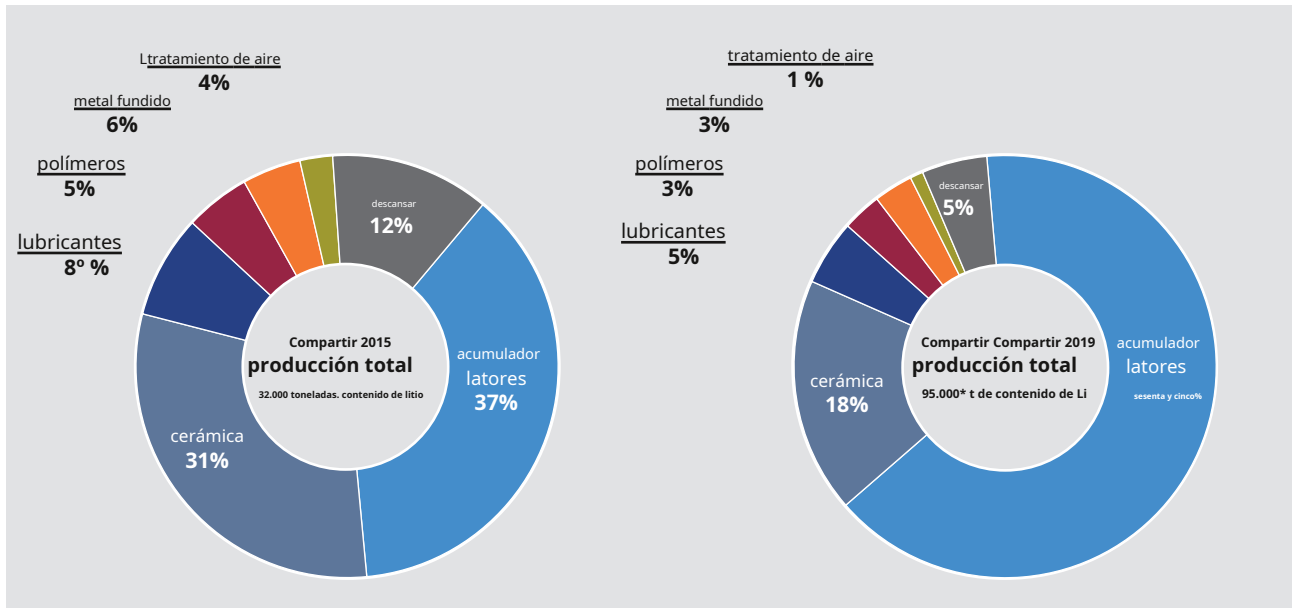


Fig. 3: Participación de acumuladores en el uso total de litio en 2015 y 2019 [3,4].

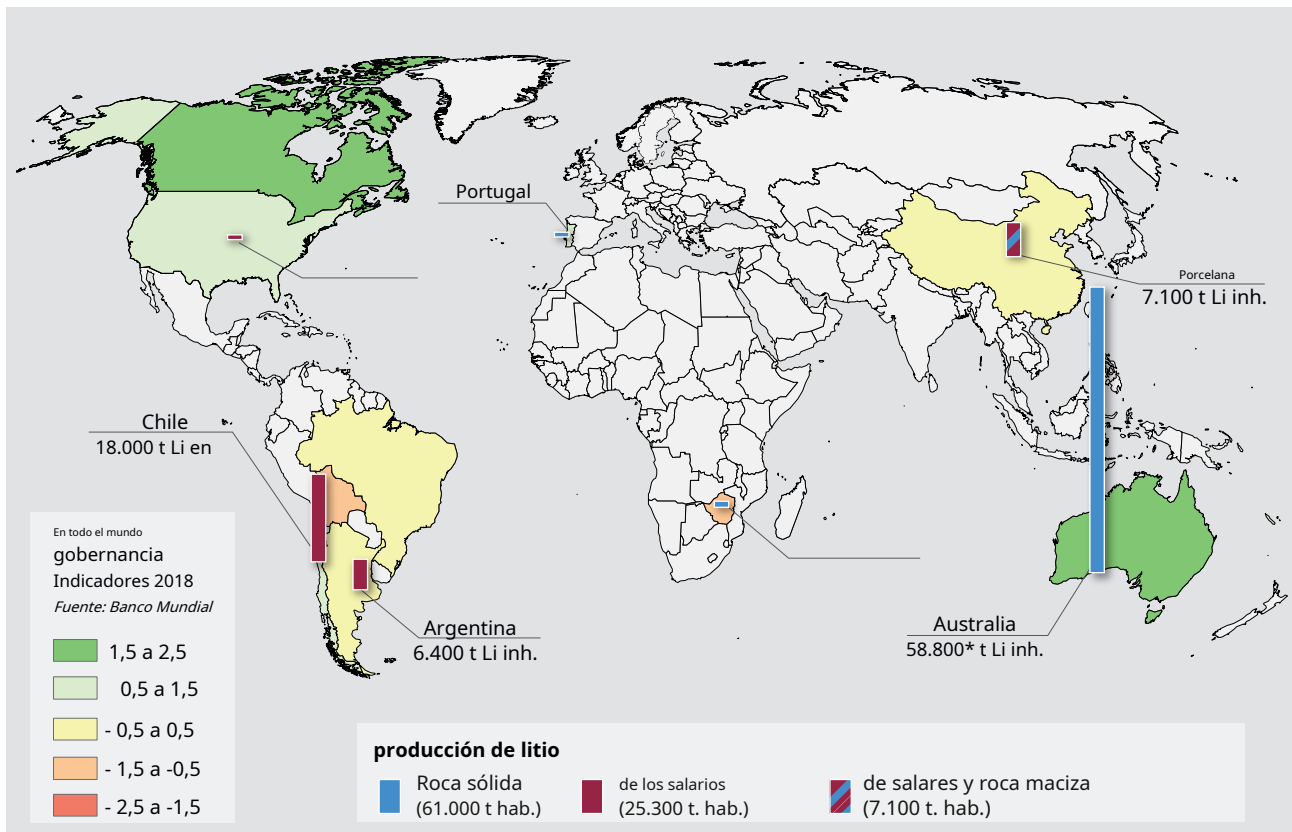


Figura 4: Principales países productores de roca madre y salar de litio en 2018 y gobernanza [6] de los países productores.

Debido al aumento de la demanda y el aumento de los precios, la producción aumentó a casi 60 000\*t de litio en 2017 y 2018. Como resultado, la participación de Chile en la producción mundial cayó al 20%, mientras que la de Australia aumentó al 63% (Fig. 4).

Las mayores reservas de litio se encuentran en los salares del llamado triángulo del litio entre el sur de Bolivia, el norte de Chile y el noroeste de Argentina.

Australia tiene actualmente la mayor capacidad de producción del mundo. Pegmatitas, es decir, sólidas

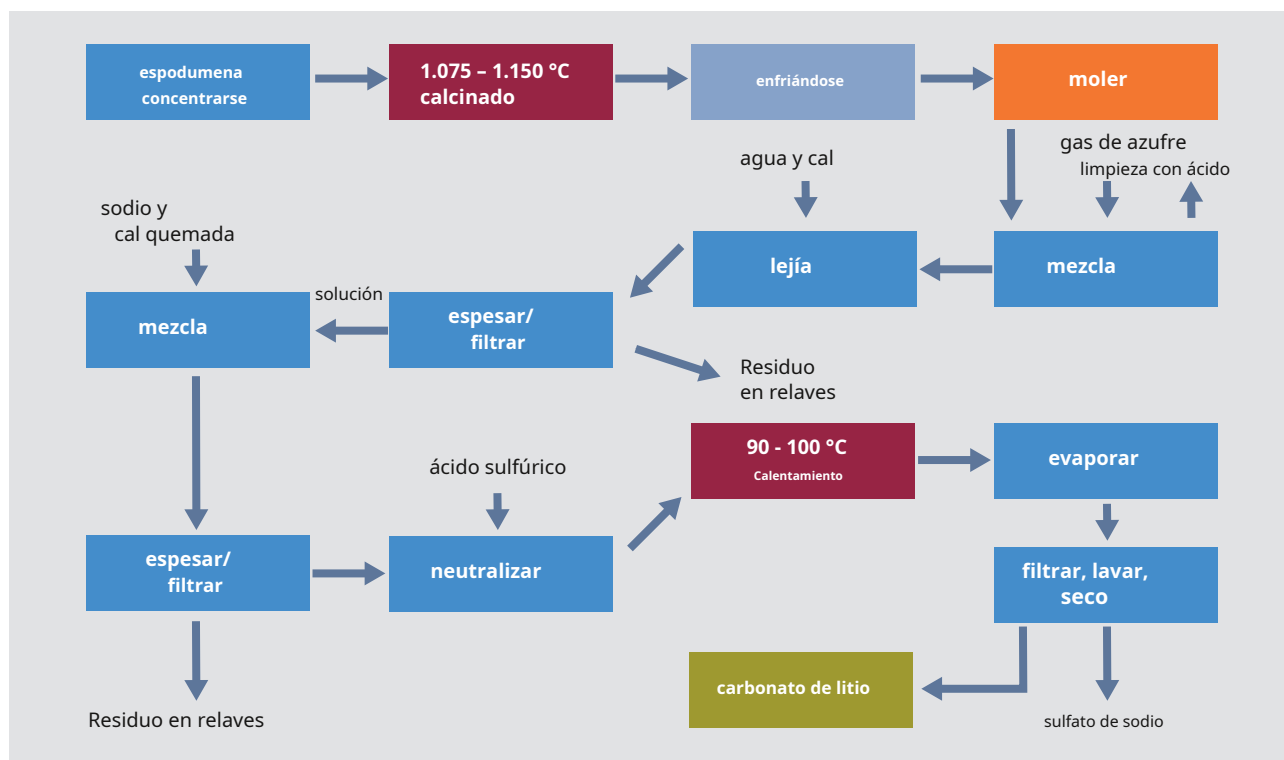


Figura 5: Esquema de la preparación de un concentrado de espodumeno a carbonato de litio según el proceso de tostado ácido [7].

roca, mayoritariamente en minería a cielo abierto, extraída. Las pegmatitas de litio se encuentran en todo el mundo, sin embargo, las leyes y el tonelaje en Australia son mayores que en la mayoría de las otras áreas del mundo. Existen otros yacimientos significativos en Zimbabue, República Democrática del Congo, Portugal, China y Brasil, entre otros. Los subproductos importantes de la minería del litio son el tantalio y el estaño.

Las pegmatitas surgen de los fundidos residuales aún no cristalizados de intrusiones graníticas. Estas son rocas de grano extremadamente grueso que, además de cuarzo y feldespato, pueden contener una serie de elementos que no encajan en la red cristalina de la mayoría de los minerales. Estos elementos incluyen litio. Esto está integrado en varios minerales en algunas pegmatitas. Los más importantes económicamente son la espodumena, la petalita y la lepidolita.

La roca se extrae en minería clásica con voladuras y carga y luego se transporta desde el tajo hasta la planta de procesamiento. Luego, la roca se rompe y se muele. Para obtener un producto comercializable con el contenido de litio adecuado y bajos niveles de impurezas, se deben utilizar procesos de enriquecimiento que concentren el litio. Los métodos de enriquecimiento comúnmente utilizados incluyen el cribado por densidad, la flotación y la separación magnética. El concentrado mineral obtenido variará en función de su pureza

dividido en diferentes calidades, con la categoría "Grado de batería" que indica la mayor pureza. La categoría de grado técnico puede contener algún grado de elementos disruptivos. La calidad de "Grado de batería" se utiliza principalmente para el procesamiento posterior en LIB, mientras que la calidad de "Grado técnico" se utiliza principalmente en la industria del vidrio y la cerámica.

Para producir el carbonato de litio a partir del concentrado, el litio debe disolverse de los minerales. Esto ocurre principalmente en el proceso de tuesta ácido (Fig. 5). Esto implica quemar el concentrado (en este caso, espodumeno) a alrededor de 1100 °C para convertir los minerales de modo que sean solubles en ácido sulfúrico. Al agregar primero carbonato de calcio y luego soda, se eliminan elementos no deseados como hierro, manganeso, aluminio y calcio y luego se precipita el carbonato de litio (99,3 % de pureza; grado técnico). Los intercambiadores de iones se utilizan para aumentar aún más la pureza (al 99,5 %; grado químico) [7].

Para poder utilizar el litio en la producción de baterías y fabricar celdas de batería, el carbonato de litio se convierte en hidróxido de litio en otro proceso.

En la extracción de salares se extrae una salmuera con un contenido en sal de unos 300 g/l [7]. Este



**Figura 6:** Balsa de evaporación para la concentración y purificación de salmuera con contenido de litio de Albemarle en el Salar de Atacama, Chile, foto: BGR.

La salinidad es más de ocho veces la del agua de mar (35 g/l). El cloruro, así como el sodio, el potasio, el magnesio, el calcio, el litio y otros elementos se disuelven en las salmueras [8, 9]. El contenido de litio de la salmuera varía entre 10 mg por kg y 2000 mg por kg [10]. La recuperabilidad económica (límite de construcción) es de al menos 600 - 700 mg Li por kg para la mayoría de los salares. Sin embargo, los depósitos chinos son significativamente más bajos, de 100 a 400 mg por kg, al igual que el depósito de Clayton Valley en los EE. UU., donde el contenido es de alrededor de 200 mg por kg [2, 7]. La extracción de yacimientos con un contenido de litio significativamente inferior a 600 mg por kg puede ser económica si se pueden extraer otros subproductos de las salmueras o si apenas hay elementos perturbadores. Pero la infraestructura y el clima también juegan un papel importante en el uso del salare. El litio de las salmueras en los salares proviene originalmente de rocas del subsuelo y se enriqueció en cuencas sin salida. Se extrae extrayendo la salmuera que contiene litio (contenido de litio de hasta el 0,2 %, contenido de sal de hasta el 30 %). Luego, la salmuera pasa a través de depósitos de evaporación conectados en serie, y los depósitos se construyen de tal manera que, idealmente, solo cristaliza una sal vendible por depósito (Fig. 6). El orden de deposición es normalmente el siguiente: Se extrae extrayendo la salmuera que contiene litio (contenido de litio de hasta el 0,2 %, contenido de sal de hasta el 30 %). Luego, la salmuera pasa a través de depósitos de evaporación conectados en serie, y los depósitos se construyen de tal manera que, idealmente, solo cristaliza una sal vendible por depósito (Fig. 6). El orden de deposición es normalmente el siguiente: Se extrae extrayendo la salmuera que contiene litio (contenido de litio de hasta el 0,2 %, contenido de sal de hasta el 30 %). Luego, la salmuera pasa a través de depósitos de evaporación conectados en serie, y los depósitos se construyen de tal manera que, idealmente, solo cristaliza una sal vendible por depósito (Fig. 6). El orden de deposición es normalmente el siguiente:

Yeso (sulfato de calcio) → sal de roca (cloruro de sodio)  
→ Sal de potasio (cloruro de potasio) → Carnalita (cloruro de potasio-magnesio) → Bischofita (cloruro de magnesio) → Salmuera rica en Li (6% Li).

La salmuera se enriquece con litio debido a la evaporación del agua al final de estos pasos de precipitación y luego se procesa en una planta química para producir carbonato de litio. En un primer paso, el boro se elimina mediante extracción con disolvente. Al final, el magnesio y el sulfato restantes se precipitan con cal viva (CaO) y sosa (NaCO). Luego, el litio se extrae como carbonato del líquido ahora puro y enriquecido. Los pasos de lavado adicionales y el proceso de intercambio de iones pueden aumentar la pureza a "Grado de batería" [7].

La disponibilidad de datos, especialmente para la salida (proporción de litio que se extrae de la salmuera) es difícil porque muchas empresas no los publican. Sin embargo, la empresa SQM, que produce en el Salar de Atacama chileno, brinda información, incluso en su informe anual de 2018 [12], que se utiliza aquí como ejemplo. Basado en un contenido de litio de 2.000 ppm en la salmuera (corresponde a 0,2 % o 2 kg/m<sup>3</sup>) rondaría los 1.400 m con una tasa de aplicación del 35% de mediasalmuera necesaria para producir una tonelada de litio (o alrededor de 270 m<sup>3</sup>salmuera para una tonelada de carbonato de litio).

No solo el contenido de litio es decisivo para la rentabilidad, sino también la proporción de, p. B. litio a magnesio o de litio a sulfato y las condiciones climáticas. Es necesario un clima muy árido debido a la evaporación necesaria para la concentración de litio y la precipitación de otros elementos.

La efectividad del proceso de evaporación muy lenta, que puede durar 2 años desde la extracción de la salmuera hasta la concentración final del litio, está influenciada por la radiación solar, el viento y las precipitaciones y sus fluctuaciones estacionales. Apenas existen posibilidades técnicas para mejorar la evaporación. Incluso en el área extremadamente seca descrita de los salares en América del Sur, todavía hay diferencias relativamente grandes. La evaporación en el Salar de Atacama en Chile, donde se encuentran las dos mayores instalaciones de producción de litio de los salares, es de alrededor de 3.200 mm por año. Al este de la cordillera principal de los Andes, en el lado argentino, la evaporación es de "solo" 2.300 mm por año (Salar de Hombre Muerto) y 1.800 mm por año en el Clayton Valley en los EE. UU. [7]. La efectividad de la producción de litio de los salares está determinada en gran medida por la composición de la salmuera. En primer lugar, la concentración inicial de litio en la salmuera es un factor crucial. Sin embargo, los elementos que están presentes además del litio también son relevantes. sodio, potasio y p. En parte, también el sulfato se puede precipitar relativamente bien de la salmuera. Esto es mucho más difícil con el magnesio porque las propiedades químicas del magnesio y el litio son muy similares. La cal se usa normalmente para eliminar el magnesio. Cuanto más magnesio hay, más cal tiene que usarse, lo que genera costos adicionales. Además, parte del litio se pierde durante la precipitación. Por lo tanto, el proceso se vuelve antieconómico por encima de una cierta relación magnesio/litio. La recuperación de litio de la salmuera original es de alrededor del 50-70 % en la mayoría de los salares [7, 11]. Sin embargo, los datos al respecto son inciertos porque los pocos operadores apenas publican cifras. La empresa chilena SQM, que produce carbonato de litio en el Salar de Atacama, afirma en su informe anual de 2018 que el rendimiento total hasta el carbonato de litio es solo del 28 - 40% [12].

Dependiendo de la composición inicial de la salmuera, además del litio, también se pueden producir fertilizantes de potasio y magnesio. Así que estos z. B. en SQM en Chile un alto aporte al resultado económico global. La conversión lograda con cloruro de potasio fue aproximadamente 1/3 de la conversión de litio [12].

Además de la tecnología actualmente utilizada de concentración de salmuera por evaporación, se están haciendo esfuerzos para utilizar otros métodos para el enriquecimiento del litio de los salares. Con ello se pretende reducir el consumo de salmuera y aumentar la rentabilidad. También se estudia el uso de agua salina de pozos petroleros o de energía geotérmica. Esto se aplica, p. B. hacia el proyecto geotérmico de la empresa Vulcan Energy Resources en Oberrheingraben [13], donde se extraerá litio además de energía geotérmica. El agua bombeada para la energía geotérmica contiene litio, que debe separarse y obtenerse de esta manera. Sin embargo, los niveles son bajos, inferiores a 200 mg/l [13]. Por lo tanto, aquí se debe utilizar un método en el que un solvente orgánico extraiga selectivamente el litio de la salmuera [7, 14, 15, 16], o intercambiadores de iones [16] que enriquecen selectivamente el litio. Otra posibilidad que se está investigando actualmente es el uso de nanomembranas para enriquecer litio a alta presión [17].

Debido a la creciente demanda de litio, es muy probable que en el futuro se extraiga más litio tanto de los salares como de las pegmatitas. Se puede suponer que la producción de pegmatitas aumentará más que la de los salares porque el potencial directamente disponible es mayor y el proceso de extracción está asociado con menos riesgos, como mayor precipitación, contaminación de salmuera o recuperación insuficiente.

### 3 RECICLAJE

El reciclaje aún no es un factor importante en la producción de litio. Por un lado, la cantidad de material que contiene litio disponible para reciclar es aún relativamente pequeña y, por otro lado, el reciclaje es relativamente costoso en comparación con la minería [18]. Además, el litio en LIB no se procesa como un metal puro, sino junto con otros componentes, p. B. en el ánodo, está instalado, que no se puede separar fácilmente.

Además, los acumuladores de los coches eléctricos aún no están disponibles para su reciclaje debido a su vida útil y su posible uso posterior como almacenamiento estacionario. Sin embargo, ya existen conceptos y sistemas de prueba para reutilizar la mayor proporción posible de acumuladores. Esto no solo afecta a los coches eléctricos, sino también a las baterías de los dispositivos móviles como smartphones o portátiles. Si una aplicación es en el vidrio o cerámica

que se encuentran en la industria o en los lubricantes, son consumibles. Aquí solo puedes intentar recolectar el vidrio lo más puro posible y fundirlo nuevamente para poder usar nuevamente las propiedades del litio. Los lubricantes no se pueden reciclar porque el elemento se distribuye en cantidades muy pequeñas.

Sin embargo, los requisitos legales como la Directiva europea sobre baterías 2006/66/EC, la Directiva WEEE 2012/19/EU (Residuos de equipos eléctricos y electrónicos), la Directiva RoHS 2011/65/EU (Restricción de sustancias peligrosas) y otros hacerse realidad a medio plazo la expansión del reciclaje [19]. Sin embargo, existen requisitos de pureza muy altos para el litio en la aplicación de LIB, lo que dificulta el uso del material nuevamente después del reciclaje. Para el reciclaje de LIBs, se prevé inicialmente el desmantelamiento manual y/o trituración mecánica. Los componentes clasificados pueden luego reciclarse para el material de destino respectivo. Para el material que no se puede separar directamente, incluidos los electrodos que contienen litio, se pueden utilizar procesos hidrometalúrgicos (lixiviación) o pirometalúrgicos (fusión) o una combinación secuencial de ambos procesos. Umicore opera una planta de reciclaje en Hoboken (Bélgica) que está diseñada para 7.000 t LIB. Esto corresponde a alrededor de 250 millones de teléfonos inteligentes (aprox. 30 g cada uno) o 35 000 baterías de automóviles eléctricos (aprox. 200 kg cada una). Sin embargo, dado que el valor del metal (por batería de automóvil aproximadamente 10 - 12 kg de cobalto, níquel y manganeso con un valor combinado de aproximadamente 590 EUR) en estas baterías, el valor del litio (por batería de automóvil aproximadamente 4 kg con un valor teórico de un máximo de 180 EUR) excede claramente, el enfoque aquí está en los metales más valiosos. El valor del litio solo se ha determinado teóricamente porque, como se describió anteriormente, solo el litio muy puro es adecuado para la producción de celdas de batería. Esto no está disponible directamente después de reciclar las baterías y tendría que producirse en procesos más complejos, lo que aumentaría los costos en consecuencia. Dado que la cantidad de litio que se utilizará en el futuro también es difícil de estimar, también es difícil pronosticar la proporción de reciclaje en el futuro. Según una fuente de 2011 [20], dependiendo del éxito del reciclaje, el sector secundario podría cubrir entre el 10 y el 25 % de la demanda de litio en 2030. también es difícil pronosticar la proporción de reciclaje en el futuro. Según una fuente de 2011 [20], dependiendo del éxito del reciclaje, el sector secundario podría cubrir entre el 10 y el 25 % de la demanda de litio en 2030. también es difícil pronosticar la proporción de reciclaje en el futuro. Según una fuente de 2011 [20], dependiendo del éxito del reciclaje, el sector secundario podría cubrir entre el 10 y el 25 % de la demanda de litio en 2030.

## 4 ASPECTOS DE SOSTENIBILIDAD DE EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LITIO

En cuanto a los aspectos de sustentabilidad de la minería del litio, también se debe distinguir entre la minería de roca sólida y la extracción de litio a partir de salmueras en los salares, ya que los respectivos procesos están asociados a efectos muy diferentes.

### 4.1 Consideraciones ambientales

#### *Requerimientos de tierra y residuos mineros*

La extracción de **Roca sólida** se debe al valor del mineral relativamente bajo en todas las minas más grandes en la minería a cielo abierto. La sobrecarga y la roca circundante muerta deben eliminarse primero. Esta roca se deposita en montones. La relación entre la franja y el mineral para las pegmatitas de litio suele oscilar entre 3:1 y 10:1. Esto da como resultado alrededor de 3 a 10 toneladas de sobrecarga por tonelada de mineral. En casos individuales, la proporción también puede ser menor.

En áreas húmedas que se utilizan para la agricultura o están forestadas, como el suroeste de Australia, los impactos en relación con el área consumida deben mantenerse lo más bajos posible.

El consumo de tierra es un problema menor en áreas áridas y escasamente pobladas, como en el norte de Australia. Esto también se refleja en el área requerida para 1 t de carbonato de litio. Los datos de los estudios de factibilidad y los documentos de solicitud de licencia publicados por el Gobierno de Australia Occidental muestran que en la mina Greenbushes, ubicada en un área de clima templado, solo 4 m<sup>2</sup> se requiere un área de superficie para la producción de 1 tonelada de carbonato de litio, mientras que las minas Pilgagoora y Mount Marion requieren 12-13 m<sup>2</sup>/t necesita carbonato de litio. Esto está relacionado por un lado con los altísimos contenidos de Li en Greenbushes, pero sin duda también con el hecho de que las áreas aprobadas en las zonas semiáridas del norte de Australia Occidental fueron solicitadas y aprobadas con mucha más generosidad debido a la el impacto en la naturaleza y los conflictos de uso con otras partes son significativamente menores. A modo de comparación, la producción de 1 t de cobre requiere 3 - 4 m<sup>2</sup> Terreno requerido y para la producción de aluminio alrededor de 1 m<sup>2</sup>/t[21].

El uso del suelo en **lasalaros**, principalmente las superficies de evaporación creadas, es relativamente grande, pero no hay datos para el consumo por tonelada



ne carbonato de litio antes. Sin embargo, las salinas no se utilizan porque son salinas extremadamente áridas. En el área de los salares, hay discusiones sobre áreas que se encuentran fuera de las cuencas de evaporación. Se trata de los efectos del bombeo de la salmuera en las lagunas de agua dulce en el borde del salare y los temores de que el bombeo de la salmuera seque las lagunas y destruya la base de vida de la flora y la fauna allí. Indirectamente, esto también podría tener un impacto negativo en el turismo.

#### *Demanda de agua*

En **la minería de lecho rocoso** se requiere agua para triturar y especialmente para moler la roca y también para los pasos de enriquecimiento posteriores (clasificación por densidad, separación magnética, flotación). Los concentrados de mineral (Li y otros materiales valiosos) se producen como productos de clasificación, que se deshidratan antes de su comercialización. Los relaves del procesamiento se depositan en balsas de relaves. Una vez que los sólidos se han asentado, parte del agua se puede reutilizar, pero parte permanecerá en los relaves como agua intersticial y agua adherida, lo que representa aproximadamente el 40 % del volumen de los relaves. Este consumo de agua es en zonas relativamente húmedas, tales como B. en el sudoeste de Australia en la mina Greenbushes, sin problemas. Según el operador, aquí solo se utiliza agua de lluvia para el tratamiento. En las zonas áridas, como la región de Pilbara en el norte de Australia, el suministro de agua de la compañía plantea un desafío mayor. Sin embargo, los conflictos por el uso del agua también son raros aquí, ya que esta región está escasamente poblada y no se utiliza para la agricultura. El agua subterránea fósil se utiliza en parte, en un caso también el agua de una antigua mina a cielo abierto llena, en la que también se depositan los residuos.

En caso de que surjan conflictos de uso por el agua en la minería de roca dura, el uso de espesadores y filtros prensa para deshidratar los relaves podría minimizar la pérdida de agua, lo que actualmente no está planificado para la mayoría de los proyectos. La humedad residual después de usar filtros prensa está entre 15 y 25%. Sin embargo, esto todavía significa que con un rendimiento de mineral de 5 millones de t por año, aproximadamente 500.000 m<sup>3</sup> se necesita agua que no se puede recuperar. Según el estudio de factibilidad de la mina Pilgangoora de Pilbara Minerals [23], la proporción planificada de agua sin el uso de filtros prensa en los relaves es de alrededor del 35 %, lo que con un rendimiento de 5 millones de toneladas de mineral es de alrededor de 875 000 m<sup>3</sup> corresponde al agua. esto sería por año 375.000 m<sup>3</sup> más que cuando se utilizan filtros prensa.

A diferencia de la minería de metales (cobre, plomo, zinc, concentrados de oro), el litio extraído de las pegmatitas generalmente no exhibe mineralización sulfurada, lo que hace que la acidificación de las aguas subterráneas o superficiales sea poco probable.

Al desmontar **salarios** una cantidad relativamente grande de agua es consumida (evaporada) por el proceso de evaporación y separación fraccionada de varias sales hasta que se alcanza la concentración final deseada de litio. Sin embargo, es agua salada que no se puede utilizar como agua potable. La cantidad de agua que debe evaporarse depende de la concentración inicial de litio en la salmuera y la recuperación (fracción que se recupera) de litio de la salmuera. Sin embargo, para aumentar el contenido de litio (máximo 0,2 %) al 6 % requerido para el procesamiento posterior, se requiere una concentración por un factor de al menos 30. Esto significa que alrededor del 97 % del agua se evapora y no puede devolverse al subsuelo. Esto conduce a una disminución del nivel de agua salada, especialmente en las cercanías de los pozos de producción, Si esto sucede en un período de tiempo más largo y con una gran cantidad de pozos, esta reducción también se nota a nivel regional. No está claro qué tan grande es la reducción causada por la producción de litio. Si el hundimiento del agua salada es demasiado alto, el agua dulce podría entrar y mezclarse con el agua salada. Como resultado, los niveles de agua subterránea de agua dulce caerían debido a la estela.

El agua que se toma es agua salada altamente salina que no se puede usar para humanos o animales. El agua dulce se requiere principalmente para la producción de hidróxido de litio, que se deriva del carbonato de litio. SQM informa que un total de 26 m<sup>3</sup> Se necesita agua dulce para 1 tonelada de hidróxido de litio, con solo 1 m<sup>3</sup> en realidad se extrae como agua subterránea y el resto proviene del tratamiento de aguas servidas de la ciudad de Antofagasta. Por lo tanto, el requerimiento real de agua dulce es bajo.

Existen derechos de agua de más de 4 m en toda la cuenca de drenaje del Salar de Atacama a/s al agua dulce. La proporción de SQM es 0.18 m<sup>3</sup>/s. La extracción de cobre en la cuenca del Salar de Atacama produce 2,8 m<sup>3</sup>/s, es decir, 15 veces. Además, SQM no solo produce litio, sino también potasio y bischofita, que requieren agua para purificar la sal cruda hasta el producto final. Entonces, no toda el agua extraída se usa para la producción de litio.

Debido a las muchas discusiones sobre la extracción de agua, existen conceptos de cómo se podría llevar a cabo la extracción de litio sin la evaporación de grandes cantidades de agua. Un ciclo casi cerrado resultaría de la extracción directa mediante extracción por solventes o intercambiadores de iones [7] y la posterior reinyección al salar. Esto significa que ya no habría una reducción a gran escala de la salmuera. Sin embargo, los mismos autores señalan que la inyección de cantidades de agua correspondientemente grandes no está exenta de problemas. Se debe evitar que el depósito real se diluya con el agua reinyectada con bajo contenido de litio y, por lo tanto, la rentabilidad del proyecto disminuya o el depósito se vuelva antieconómico. Además, los compuestos orgánicos, que no se pudieron eliminar por completo se llevan bajo tierra. Sin embargo, tales escenarios todavía están en el futuro, ya que las tecnologías correspondientes aún no se pueden utilizar a gran escala.

## 4.2 Importancia social y socioeconómica

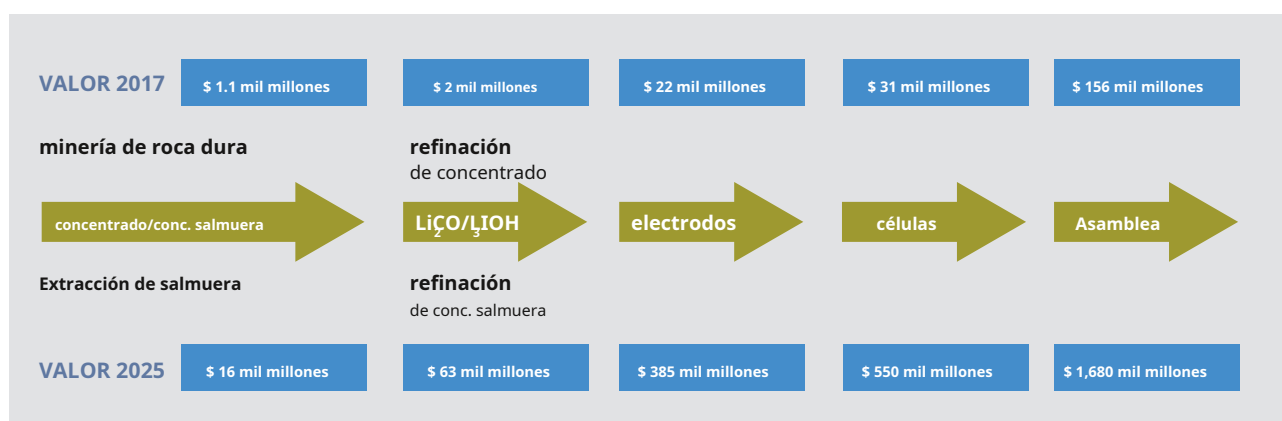
Como cuencas, los salares representan las zonas más bajas del área, en los bordes más altos de los salares se encuentran acuíferos con agua dulce, que se utilizan para el abastecimiento de agua potable y para el cultivo de los campos de la población local. El bombeo de salmuera baja el nivel del agua a nivel local y en parte también a nivel regional. Una mezcla de agua salada y dulce (ver 4.1) puede hacer que el agua sea inutilizable para las personas y la agricultura tradicional de las comunidades vecinas. Hay informes de niveles de agua subterránea que se hunden y pozos asociados que se secan [24]. Esto conduce a restricciones de la población indígena en su modo de vida tradicional. Sin embargo, es complejo medir el impacto de la minería de litio en los niveles de agua subterránea. Primero, los productores de litio SQM y Albemarle solo extraen un pequeño porcentaje del agua dulce subterránea y, segundo, es extremadamente difícil medir científicamente el impacto del agua salada baja en el agua dulce adyacente. Además de la extracción de agua a través de la minería, el descenso también puede ser causado por la reducción de las precipitaciones [25]. La falta de precipitaciones, la extracción de agua dulce para la industria del cobre, el aumento del consumo de agua por parte del turismo y la industria del litio también pueden causar que las lagunas de agua dulce se sequen o se vuelvan tan severas. Además de la extracción de agua a través de la minería, el descenso también puede ser causado por la reducción de las precipitaciones [25]. La falta de precipitaciones, la extracción de agua dulce para la industria del cobre, el aumento del consumo de agua por parte del turismo y la industria del litio también pueden causar que las lagunas de agua dulce se sequen o se vuelvan tan severas. Además de la extracción de agua a través de la minería, el descenso también puede ser causado por la reducción de las precipitaciones [25]. La falta de precipitaciones, la extracción de agua dulce para la industria del cobre, el aumento del consumo de agua por parte del turismo y la industria del litio también pueden causar que las lagunas de agua dulce se sequen o se vuelvan tan severas.

influirá negativamente que la fauna parcialmente endémica se dañe. Esto a su vez tendría un impacto en el turismo, ya que los flamencos son uno de los principales atractivos del Salar de Atacama y el Salar de Uyuni. Una conexión entre la falta de precipitaciones, la extracción de agua por parte de varias industrias y la extracción de agua salada para la producción de litio es extremadamente difícil de presentar de manera objetiva.

Partes de la industria del cobre, que también tiene su sede en la región, planean prescindir de la extracción de agua dulce del área de captación de Salare en el futuro y usar agua de mar desalinizada. Esto podría reducir el estrés hídrico en la región y así contribuir a la resolución de los conflictos.

Los conflictos sobre la producción real de salmuera y el impacto de esa producción en los suministros locales de agua dulce no es un fenómeno exclusivo de Chile. Estas discusiones también existen en Argentina y Bolivia, donde existen yacimientos similares. Aquí también se discute el beneficio de la producción de litio a expensas de la extracción de agua. Incluso si la cantidad de agua extraída es principalmente agua salada, permanece la cuestión de la interacción con el agua dulce adyacente. Por lo tanto, la investigación de las relaciones exactas es fundamental si se quiere garantizar la producción sostenible de litio y, al mismo tiempo, gestionar de forma sostenible el agua dulce. La influencia del clima cambiante en la precipitación y, como resultado, en el nivel de las aguas subterráneas y la recarga de las aguas subterráneas siempre sigue siendo problemática.

La producción de litio está asociada con una cadena de valor muy larga desde la minería hasta la producción de baterías (Fig. 7). Por supuesto, el valor dado durante el montaje de los acumuladores no refleja el valor del litio, sino el de todo el producto con todas las materias primas que contiene. En términos de extracción y procesamiento, el producto final en la extracción de salmuera es siempre una sal, generalmente carbonato de litio (el hidróxido de litio y el cloruro de litio también son posibles productos finales). La minería de roca dura generalmente produce concentrados o, a veces, envía directamente el mineral (mineral de envío directo). En este último caso, sería posible una extensión de la cadena de valor del concentrado al carbonato de litio en el sitio o en las cercanías. Sin embargo, esto requiere inversiones relativamente altas, que actualmente solo se encuentran en la etapa de planificación pero aún no se han implementado. El aumento en el valor del contenido de litio de un concentrado de espodumeno a carbonato de litio es un factor de 5-6 [1]. Las razones principales son las



**Figura 7:** Cadena de valor de las baterías en el caso del litio como materia prima. Las ventas en miles de millones de USD al año se tomaron del estudio de [22]. El aumento de valor del concentrado de espodumeno a carbonato de litio es aproximadamente un factor de 5-6. No es posible determinar directamente la transición de salmuera rica en litio a carbonato de litio porque la salmuera no se comercializa como producto, sino que se procesa directamente en el sitio.

para energía y productos químicos, así como los requisitos de alta pureza para el carbonato de litio "Battery Grade". El procesamiento posterior en electrodos, celdas y ensamblaje final tiene lugar principalmente en China, Corea del Sur y Taiwán [4]. Pero también hay una serie de iniciativas en marcha en Europa para trasladar la producción de baterías para electromovilidad más cerca del mercado nacional. Los esfuerzos de Chile y Bolivia para iniciar también la producción de acumuladores es comprensible dado el valor agregado que implica. Sin embargo, actualmente se está invirtiendo mucho más dinero en nuevas instalaciones de producción e investigación en Europa y América del Norte que en América del Sur. Por lo tanto, es cuestionable si la deseada extensión de la creación de valor realmente tendrá lugar en América del Sur. También en Australia hubo o hay ideas realizar al menos la producción de carbonato de litio en el país. Sin embargo, un proyecto correspondiente para los concentrados de la mina Greenbushes no continuará por el momento debido a la caída de los precios. En la producción de concentrados minerales y en la extracción de salmuera y posterior producción de carbonato de litio, se emplean varios cientos de personas en cada mina en cada mina. La productora de litio SQM en Chile ha empleado a casi 5.000 personas, por lo que no solo las empresas mineras son importantes como contribuyentes, sino que los empleados empleados pagan impuestos y contribuyen al desarrollo económico con su poder adquisitivo. Sin embargo, un proyecto correspondiente para los concentrados de la mina Greenbushes no continuará por el momento debido a la caída de los precios. En la producción de concentrados minerales y en la extracción de salmuera y posterior producción de carbonato de litio, se emplean varios cientos de personas en cada mina en cada mina. La productora de litio SQM en Chile ha empleado a casi 5.000 personas, por lo que no solo las empresas mineras son importantes como contribuyentes, sino que los empleados empleados pagan impuestos y contribuyen al desarrollo económico con su poder adquisitivo. Sin embargo, un proyecto correspondiente para los concentrados de la mina Greenbushes no continuará por el momento debido a la caída de los precios. En la producción de concentrados minerales y en la extracción de salmuera y posterior producción de carbonato de litio, se emplean varios cientos de personas en cada mina en cada mina. La productora de litio SQM en Chile ha empleado a casi 5.000 personas, por lo que no solo las empresas mineras son importantes como contribuyentes, sino que los empleados empleados pagan impuestos y contribuyen al desarrollo económico con su poder adquisitivo.

Una extensión de la cadena de valor más allá de la producción de carbonato de litio sigue siendo cuestionable porque muchos países compiten por las capacidades requeridas en el mercado de baterías de iones de litio. Bolivia sigue siendo un ejemplo emocionante aquí con los grandes recursos en el Salar de Uyuni, porque el estado aquí estipula que el procesamiento adicional en el país

debe hacerse. Sin embargo, la producción de litio aún no ha comenzado.

#### *gases de invernadero*

Según algunos autores, los efectos de la producción de carbonato de litio en la huella de CO<sub>2</sub> si se producen más pegmatitas con leyes más bajas en el futuro son insignificantes en general [26]. Esto seguiría siendo una cantidad relativamente baja de unos buenos 4 kg de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e)/kWh por kWh de energía de batería producida. Romare & Dahllöf [27] suponen 1 - 2 kg CO<sub>2</sub>e/kWh para la producción de carbonato de litio a partir de salares. La huella total de CO<sub>2</sub> se da aquí como alrededor de 37 - 71 kg CO<sub>2</sub>e por kWh<sub>2</sub> de energía de la batería. Esto significa que la contribución de la huella de carbono del litio a la producción de baterías estaría muy por debajo del 10%. Sin embargo, la conversión de los concentrados de espodumeno a carbonato de litio grado batería no está incluida en esta consideración. Esta conversión de espodumeno en carbonato de litio se debe a la (Fig.

Por supuesto, la contribución total también depende del tipo de energía utilizada para producir la batería. Aquí, Romare & Dahllöf [27] dan valores de 7 kg CO<sub>2</sub>e/kWh para Suecia (mucho energía hidroeléctrica) debido a diferentes combinaciones energéticas. Esto se compara con 159 kg CO<sub>2</sub>e/kWh para China y 226 kg CO<sub>2</sub>e/kWh para la producción en India (principalmente carbón). Otros autores dan un valor estándar de 107 kg CO<sub>2</sub>e/kWh [28]. El factor principal no es la materia prima utilizada, sino el sitio de producción de la producción de celdas de batería o la combinación de energía que se utiliza.

## 4.3 Gobernanza

Con mucho, la mayor parte de la producción total de litio se encuentra en países con muy buena (Australia) o buena (Chile) gobernanza (promedio de los Indicadores de Gobernanza Mundial del Banco Mundial [6]). La gobernanza media ponderada por la producción es una puntuación muy buena de 1,16 (en una escala de -2,5 a +2,5). El único país con gobernanza crítica entre los actuales países productores es Zimbabue (-1,19). Si Bolivia aumenta significativamente la producción, el país también sería uno de los países críticos con un índice de gobernabilidad por debajo de -0,5 (-0,55). Pero incluso en países con buena gobernanza, como Chile, hay muchas voces críticas, especialmente con respecto al monitoreo de la extracción de agua de los productores de litio. A veces existe un clima de poca confianza entre la población local, las empresas mineras y las autoridades de control. En respuesta, SQM publica tasas diarias de extracción de sus pozos, pero parece haber un largo camino por recorrer para recuperar la confianza de la población local.

## 5 REFERENCIAS

- [1] BGR – Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (2019) Sistema de información especializado en materias primas. – inédito; Hanovre. [Estado 05/05/2020].
- [2] Schmidt M (2017) Evaluación de riesgos de materias primas - Litio - Información de materias primas DERA 33: Berlín.
- [3] Servicios de información de Roskill Ltd. (2016) Litio: industria global, mercados y perspectivas. Londres.
- [4] Statista (2020) Distribución del uso final de litio a nivel mundial en 2019, por área de aplicación <https://www.statista.com/statistics/268787/uso-de-litio-en-el-mercado-mundial/> [Estado: 09.06.2020].
- [5] Rahimzei E, Sann K, Vogel M (2020) Compendio: Baterías de iones de litio en el programa de financiación de BMWi ICT for Electromobility II: Smart Car - Smart Grid - Smart Traffic. <https://www.dke.de/resource/blob/933404/3d80f2d93602ef58c6e28ade9be093cf/kompendium-li-ionen-batterien-data.pdf> [a partir del 09.06.2020].
- [6] Banco Mundial (2019) Banco Mundial de Datos –URL: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-widegovernance-indicators> [al 4 de mayo de 2020].
- [7] Garret DE (2004) Manual de litio y cloruro de calcio natural: sus depósitos, procesamiento, usos y propiedades. Elsevier, Oxford.
- [8] Flexer V, Baspineiro CF, Galli CI (2018) Recuperación de litio de salmueras: una materia prima vital para las energías verdes con un impacto ambiental potencial en su extracción y procesamiento. Ciencia del Medio Ambiente Total 639:1188-1204.
- [9] Talens Peiró L, Villalba Méndez G, Ayres RU (2013) Litio: fuentes, producción, usos y perspectivas de recuperación. Revista de Mineralogía 65(8):986-996.
- [10] Vikström H, Davidsson S, Höök M (2013) Disponibilidad de litio y perspectivas de producción futura. Energía Aplicada 110:252-266.
- [11] Jaskula BW (2017) USGS: 2015 Minerals Yearbook: litio. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/myb1-2015-lithi.pdf>
- [12] Anuario Conmemorativo SQM (2018) [http://s1.q4cdn.com/793210788/files/doc\\_financials/annual\\_report/2018/Memoria-Anual-2018\\_esp.pdf](http://s1.q4cdn.com/793210788/files/doc_financials/annual_report/2018/Memoria-Anual-2018_esp.pdf)
- [13] Recursos energéticos de Vulcano (2020) <https://v-er.com/zero-carbon-lithium-presentation-marzo-2020/> [a partir del 09.06.2020].
- [14] Song JF, Nghiem LD, Li XM, He T (2017) Extracción de litio de salmueras de lagos salados chinos: oportunidades, desafíos y perspectivas futuras. Ciencias Ambientales: Investigación y Tecnología del Agua 3(4):593-597
- [15] Bukowsky H, Uhlemann E (1993) Extracción selectiva de cloruro de litio de salmueras. Ciencia y Tecnología de Separación 28(6):1357-1360
- [16] Gabra GG, Torma AE (1978) Extracción de cloruro de litio por n-butanol. Hidrometalurgia 3(1):23-33
- [17] Somrani A, Hamzaoui AH, Pontie M (2013) Estudio sobre la separación de litio de salmueras de lagos salados mediante nanofiltración (NF) y ósmosis inversa de baja presión (LPRO). Desalinización 317:184-192
- [18] Martin G, Schneider A, Voigt W, Bertrau M (2017) Extracción de litio del mineral zinnwaldita: Parte II: Recuperación de carbonato de litio mediante carbonatación directa de concentrado de zinnwaldita sinterizada. - Ingeniería de Minerales 110:75-81

[19] Marscheider-Weidemann F, Langkau S, Hummen T, Erdmann L, Espinoza T, Angerer L, Marwede M, Benecke S (2016) Materias primas para tecnologías futuras 2016. – DERA raw material information 28: Berlín.

[20] Wanger T (2014) El futuro del litio: recursos, reciclaje y medio ambiente. - Cartas de Conservación 4:202-206

[21] Tost M, Bayer B, Hitch M, Lutter S, Moser P, Feiel S (2018) Presiones ambientales de la minería metálica: una revisión y estimaciones actualizadas sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el uso del agua y los requisitos de la tierra. Sostenibilidad 10(8): 2881

[22] Wills R, Buckley H, Prentice N (2018) Una industria del litio en Australia. Un análisis de la cadena de valor para los recursos de litio aguas abajo de Australia. [https://www.amec.org.au/wp-content/uploads/2020/01/A\\_Lithium\\_industry\\_in\\_Australia.pdf](https://www.amec.org.au/wp-content/uploads/2020/01/A_Lithium_industry_in_Australia.pdf) [al 4 de mayo de 2020].

[23] Los resultados de DFS de Pilbara Minerals (2018) y la confianza del cliente respaldan una importante expansión de Pilgangoora. [http://www.pilbaraminerals.com.au/site/PDF/2194\\_0/OutstandingDFSResultsSupportPilgangooraExpansion](http://www.pilbaraminerals.com.au/site/PDF/2194_0/OutstandingDFSResultsSupportPilgangooraExpansion) [al 4 de mayo de 2020].

[24] Liu W, Agustinata DB, Myint SW (2019) Patrones espaciotemporales de la minería de litio y la degradación ambiental en el Salar de Atacama, Chile. Revista internacional de observación terrestre aplicada y geoinformación 80: 145-156

[25] Dirección de Meteorología de Chile: <https://el-vinotinto.cl/2019/12/26/direccion-de-meteorologia-de-chile-la-decada-mas-seca-en-150-anos> [Estado: 18/05/2020].

[26] Ambrose H, Kenadall A (2020) Comprender el futuro del litio: Parte 2, modelado de evaluación del ciclo de vida resuelto temporal y espacialmente. Diario de Ecología Industrial 24:90-100

[27] Romare M, Dahllöf L (2017) El consumo de energía del ciclo de vida y las emisiones de gases de efecto invernadero de las baterías de iones de litio. IVL Instituto Sueco de Investigación Medioambiental, Informe número C 243. <https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+El+ciclo+de+vida+energía+consumo+y+emisiones+de+CO2+de+las+baterías+de+io+litio+.pdf> [al 4 de mayo de 2020].

[28] Ellingsen LA-W, Majeau-Bettez G, Singh B, Srivastava AK, Valøen LO, Strømman AH (2014) Evaluación del ciclo de vida de un paquete de batería de iones de litio para vehículos. Diario de Ecología Industrial 18: 113-124

\* Las cifras de producción para Australia son de BGS/USGS. Se cree que se basan en cifras de exportación convertidas utilizando un factor de conversión del 6 % de contenido de Li<sub>2</sub>O (concentrado estándar) para todos los minerales y concentrados exportados desde Australia. Dado que el contenido de Li<sub>2</sub>O de los productores individuales varía entre el 1,2 y el 7 % según el producto y solo se conocen las exportaciones totales del país, la producción anual declarada probablemente sea significativamente mayor que la producción anual real.

## IMPRIMIR

### Editor:

© Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales B  
1.2 Geología de los recursos minerales  
Área de trabajo Minería y Sostenibilidad  
Stilleweg 2  
30655 Hanóver

Correo electrónico: mineralische-  
rohstoffe@bgr.de www.bgr.bund.de

### Autor:

Malta Drobe

### Con la colaboración de:

Michael Schmidt y Gudrun Franken

### Diseño:

Jolante Dubai

### foto de cubierta:

© 40568941 Shutterstock Petr Malyshev

### Estaba de pie:

julio 2020