

# **Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe**

---

# **Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe**

---

Sanin, Maria Eugenia  
Snyder, Virginia  
Walter, Martín  
Balza, Lenin



## **Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo.**

Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe / María Eugenia Sanin, Virginia Snyder, Walter Martín, Lenin Balza. p. cm. — (Monografía del BID ; 1152) Incluye referencias bibliográficas. 1. Electric vehicles-Latin America. 2. Electric vehicles-Caribbean Area. 3. Lithium cells-Latin America. 4. Lithium cells-Caribbean Area. 5. Electric batteries-Latin America. 6. Electric batteries-Caribbean Area. I. Sanin, María Eugenia. II. Snyder, Virginia. III. Walter, Martin. IV. Balza, Lenin. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. VI. Serie.

IDB-MG-1152

**Códigos JEL:** D02, D04, D22, H41, L10, L19, L25, L38, L61

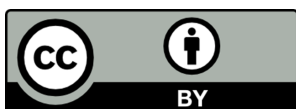
**Palabras Clave:** Litio, transición energética, minería, industrias extractivas, electromovilidad

Copyright © 2023 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier indistinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



### **Financiado por el proyecto RG-T3340 - Desarrollo del litio: Plataforma Regional para un Desarrollo Sostenible.**

El objetivo de este Bien Público Regional (BPR) es la construcción de una visión de desarrollo regional compartida y programática para el desarrollo responsable y sostenible de la industria de Litio en América Latina (Argentina, Bolivia, Chile y Perú). El BPR plantea la generación de una plataforma de relacionamiento permanente en igualdad de condiciones, producción de conocimiento técnico especializado e intercambio de experiencias alrededor de la producción y explotación del litio. El proyecto busca, mediante un proceso colaborativo multi-actor, la construcción de una agenda común de desarrollo. El equipo de trabajo agradece la contribución de un informe antecedente elaborado por Deloitte MX Inc. y los valiosos comentarios de colegas del BID de la División de Energía, Transporte y Cambio Climático.

**Diagramación y Diseño:** GHM Contenidos. Esteban Echeverría 772 Sur (5400). San Juan.  
+54 264 4266621. ghmtv@ghmtv.com



# Contenido

## Del litio al vehículo eléctrico: las 8 etapas de la cadena de valor de las baterías

---

### 1. Primeros eslabones en la cadena: 1/3 del litio mundial se produce en América Latina

---

- 1.1 Ventajas de costos en la producción de carbonato de litio
  - 1.2 Una empresa Chilena lidera el mercado del litio que está muy concentrado
- 

### 2. Eslabones intermedios: explicación del liderazgo chino

---

- 2.1 La demanda mundial de baterías, impulsada fundamentalmente por demanda china, ha crecido en forma exponencial y seguirá creciendo
    - 2.1.1 El gran crecimiento proyectado en la demanda de baterías constituye el 95% de la demanda de litio
    - 2.1.2 La demanda mundial de litio podría aumentar más del 40% de aquí al 2040
- 

### 3. Potencial de desarrollo de la cadena en ALC: interacción entre mercado y regulación

---

- 3.1 ALC puede profundizar su participación en la cadena de valor en otros materiales necesarios para la producción de baterías
  - 3.2. Desarrollo de la demanda: los VE podrían alcanzar 91% del registro de nuevos vehículos en ALC
  - 3.3 Oferta: la producción interna de VE en ALC podría alcanzar 6.19 millones de unidades al 2050
    - 3.3.1 Reciclaje: potencial en ALC para desarrollar el último eslabón de la cadena
  - 3.4 Regulación y gobernanza: distintos modelos de desarrollo y voluntad de participación en la cadena de valor de las baterías
    - 3.4.1 Argentina: gestión provincial y coordinación nacional para la inversión privada
    - 3.4.2 Bolivia: modelo liderado por el estado con participación creciente del sector privado
    - 3.4.3 Chile: estrategia nacional, asociaciones público-privadas para desarrollo integral de la cadena
- 

## Recomendaciones: aprovechar la ventana de oportunidad respetando el medio ambiente y las comunidades locales

---

### Referencias

## **Prólogo**

La cadena de valor de las baterías es muy extensa y está compuesta por muchas etapas diferentes con distintos grados de complejidad, con requerimientos tecnológicos y de financiamiento diferentes. Algunas de las empresas líderes mundiales en las primeras etapas de la cadena son latinoamericanas pero dicho liderazgo no se observa ni en las etapas intermedias ni en las finales. En este documento analizamos cada una de las etapas de la cadena así como los determinantes de su posible evolución y los desafíos que dicha evolución presenta para la región de América Latina y el Caribe (ALC).

## **Del litio al vehículo eléctrico: las 8 etapas de la cadena de valor de las baterías**

Para describirla de la forma más sencilla posible, una batería se compone de dos polos, donde el positivo es el cátodo y el negativo es el ánodo, separados por la sustancia conductora compuesta de electrolitos. Los electrolitos van de un lado a otro a medida que la batería se descarga y recarga. El cátodo se fabrica con distintas porciones de litio y otros minerales dependiendo, por un lado, de la capacidad y voltaje de la batería y, por el otro, de la tecnología utilizada (por ejemplo, cobalto, níquel y manganeso para la batería NMC, o hierro y fosfatos para la batería LFP). Una vez realizada esta mezcla de minerales, se aplican una serie de procesos químicos hasta producir los llamados hidróxidos metálicos mixtos que se calcinan con carbonato de litio o con hidróxido de litio para obtener el óxido de litio, que es el material activo del cátodo.

El litio que se produce en ALC sigue un largo recorrido hasta los vehículos eléctricos (VE), lo que se denomina “cadena de valor de las baterías” para VE. Cada etapa de ese camino demanda distintos insumos y tecnologías, y posee su propia estructura de mercado e industria.

El gráfico siguiente presenta el camino del litio desde la mina en la primera etapa de la cadena de valor a la fabricación de un vehículo eléctrico en la sexta etapa. Distintos países y regiones juegan un papel predominante en cada una de las etapas de la cadena de valor. En lo que sigue analizaremos cada una en detalle.

• 41% en China, 21% en Japón, 17% en Estados Unidos y 5% en la Unión Europea.

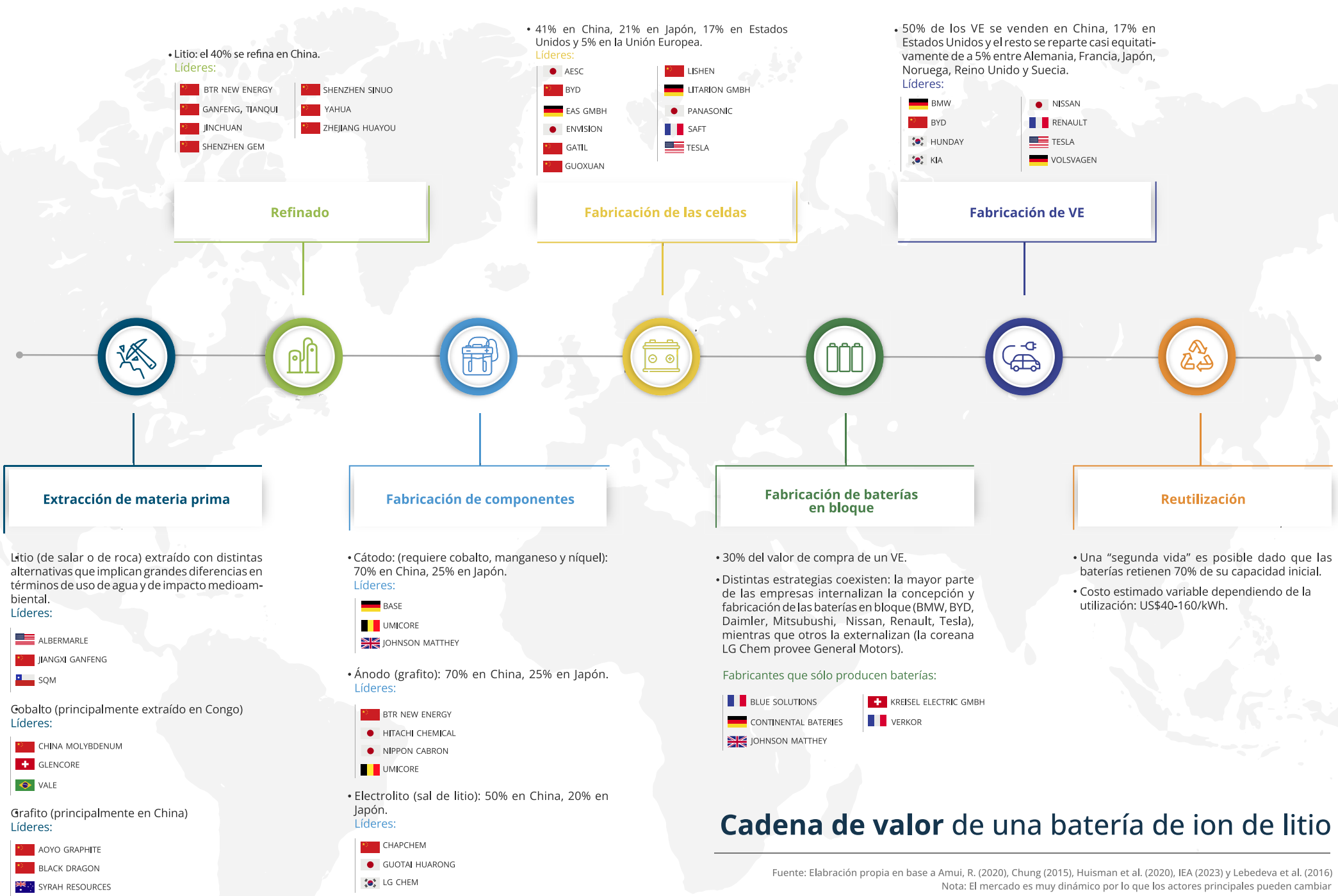
Líderes:

- AESC
- BYD
- EAS GMBH
- ENVISION
- GATIL
- GUOXUAN
- LISHEN
- LITARION GMBH
- PANASONIC
- SAFT
- TESLA

• 50% de los VE se venden en China, 17% en Estados Unidos y el resto se reparte casi equitativamente de a 5% entre Alemania, Francia, Japón, Noruega, Reino Unido y Suecia.

Líderes:

- BMW
- BYD
- HUNDAI
- KIA
- NISSAN
- RENAULT
- TESLA
- VOLSVAGEN



**Refinado**

• Litio: el 40% se refina en China.  
Líderes:

- BTR NEW ENERGY
- GANFENG, TIANQUI
- JINCHUAN
- SHENZHEN GEM
- SHENZHEN SINUO
- YAHUA
- ZHEJIANG HUAYOU

**Fabricación de las celdas**

**Fabricación de VE**

**Extracción de materia prima**

**Fabricación de componentes**

**Fabricación de baterías en bloque**

**Reutilización**

Litio (de salar o de roca) extraído con distintas alternativas que implican grandes diferencias en términos de uso de agua y de impacto medioambiental.  
Líderes:

- ALBERMARLE
- JIANGXI GANFENG
- SQM

Cobalto (principalmente extraído en Congo)  
Líderes:

- CHINA MOLYBDENUM
- GLENCORE
- VALE

Grafito (principalmente en China)  
Líderes:

- AOYO GRAPHITE
- BLACK DRAGON
- SYRAH RESOURCES

• Cátodo: (requiere cobalto, manganeso y níquel): 70% en China, 25% en Japón.  
Líderes:

- BASE
- UMICORE
- JOHNSON MATTHEY

• Ánodo (grafito): 70% en China, 25% en Japón.  
Líderes:

- BTR NEW ENERGY
- HITACHI CHEMICAL
- NIPPON CABRON
- UMICORE

• Electrolito (sal de litio): 50% en China, 20% en Japón.  
Líderes:

- CHAPCHEM
- GUOTAI HUARONG
- LG CHEM

• 30% del valor de compra de un VE.  
• Distintas estrategias coexisten: la mayor parte de las empresas internalizan la concepción y fabricación de las baterías en bloque (BMW, BYD, Daimler, Mitsubishi, Nissan, Renault, Tesla), mientras que otros la externalizan (la coreana LG Chem provee General Motors).

Fabricantes que sólo producen baterías:

- BLUE SOLUTIONS
- CONTINENTAL BATERIES
- JOHNSON MATTHEY
- KREISEL ELECTRIC GMBH
- VERKOR

• Una "segunda vida" es posible dado que las baterías retienen 70% de su capacidad inicial.  
• Costo estimado variable dependiendo de la utilización: US\$40-160/kWh.

## Cadena de valor de una batería de ion de litio

Fuente: Elaboración propia en base a Amui, R. (2020), Chung (2015), Huisman et al. (2020), IEA (2023) y Lebedeva et al. (2016)  
Nota: El mercado es muy dinámico por lo que los actores principales pueden cambiar

## 1. Primeros eslabones en la cadena: 1/3 del litio mundial se produce en América Latina y el Caribe

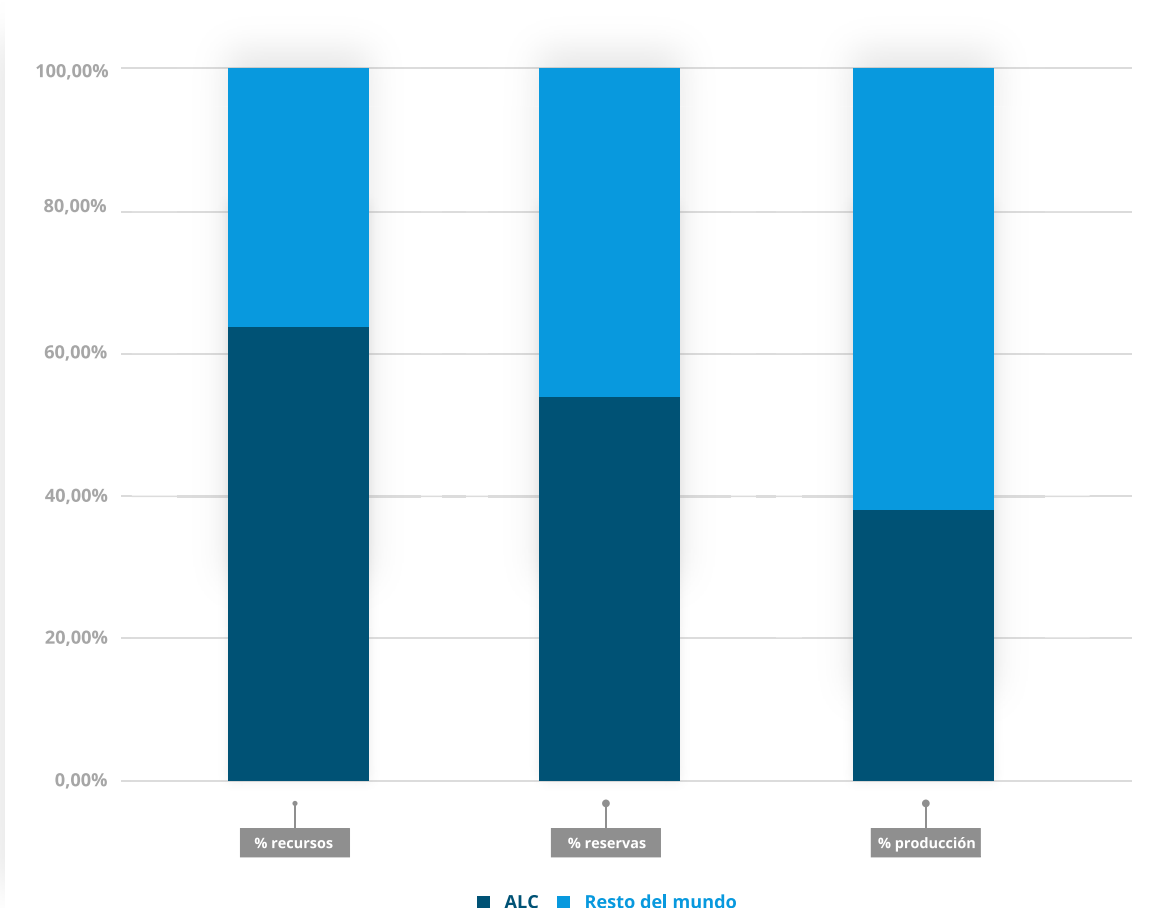
El primer paso de la cadena de valor es la obtención de las distintas materias primas. ALC posee 60% de los recursos de litio identificados en el mundo, localizados en el denominado “triángulo del litio” constituido por Argentina, Bolivia y Chile.

El contar con recursos o reservas no necesariamente se traduce en producción: los países de ALC representan apenas 32% de la producción de litio a pesar de contar con 52% de las reservas.

### Participación de ALC en recursos, reservas y producción de litio

Datos 2022. Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Geological Survey, 2022

Nota: Recursos refiere al potencial de disponibilidad aunque no sea económicamente explotable. Las reservas, sin embargo, son fuentes explotables actualmente.

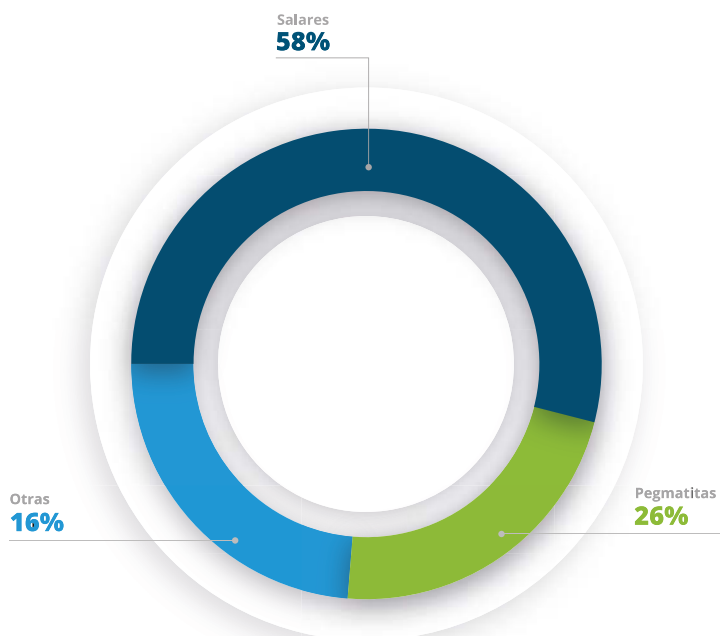


## 1.1 Ventajas de costos en la producción de carbonato de litio

La particular estructura de costos de producción de litio latinoamericano se debe a que el 58% del litio en la región proviene de salares y tan solo 26% proviene de roca. Esta diferencia es importante para entender el potencial de competitividad de la región. La primera etapa en la cadena de valor del litio consiste en la obtención de hidróxido de litio o de carbonato de litio. Tanto el hidróxido de litio como el carbonato de litio se obtienen de dos fuentes principales: salares y pegmatitas (o roca).

### Recursos de litio según tipo de yacimiento en ALC

Datos 2020. Fuente: Elaboración propia con datos de Cochilco, 2021



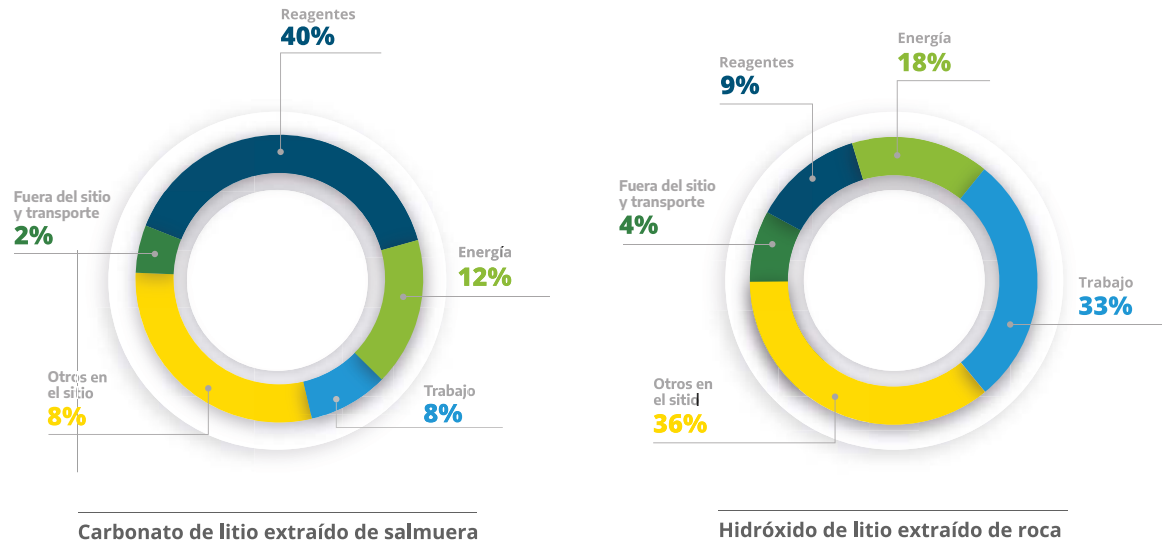
La estructura de costos es diferente en la producción de carbonato de litio de salmueras y de hidróxido de litio extraído de roca. En el primero, los reagentes<sup>1</sup> químicos constituyen la gran mayoría de los costos, mientras que la fuente de costos clave en la producción de hidróxido de litio es el trabajo con un 33% como se ve en el siguiente gráfico. Vemos entonces que los factores influyentes en la competitividad de ambas tecnologías son bien distintos.

<sup>01</sup> Los reagentes químicos (soda caustica, carbonato de sodio, óxido de calcio y ácido sulfúrico) son usados para convertir los minerales concentrados en compuestos químicos de litio.



### Gráfico comparativo de estructura de costos en los dos tipos de procesos del litio

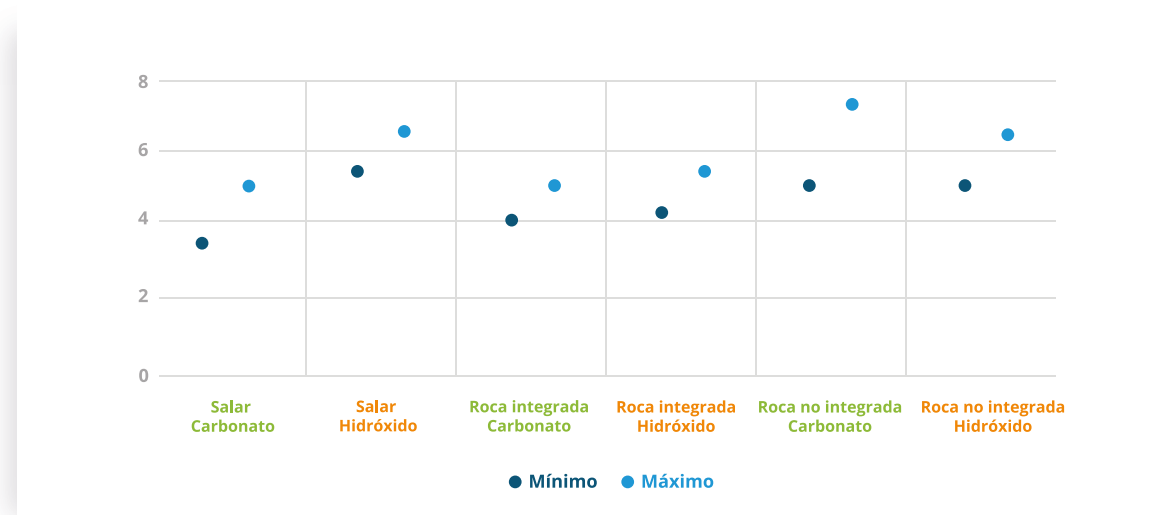
Fuente: Elaboración propia en base a Cochilco 2021 y Pilbara Minerals (2017)



La diferencia principal entre procesos son los costos operacionales. Estos dependen del producto final (carbonato o hidróxido) y el tipo de operación (salmuera o roca). Estas últimas pueden además estar integradas o no. En el primer caso la producción de la mina y la planta química que procesa el carbonato o hidróxido están integradas. En el segundo, la mina vende el espodumeno a un tercero para que procese en carbonato o hidróxidos.

### Costos operacionales estimados

Miles de dólares por tonelada en 2020. Fuente: Elaboración propia con datos Cochilco, 2021



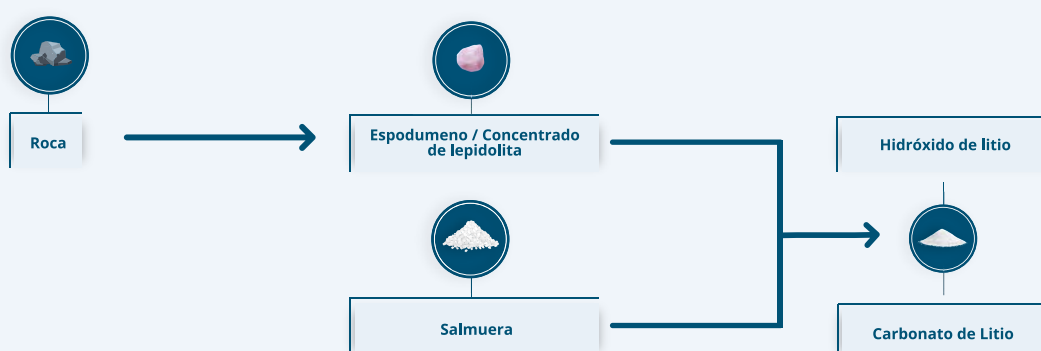
Actualmente, los productores de cátodos requieren predominantemente de hidróxido de litio como insumo, por lo que el carbonato debe ser transformado en hidróxido. Dicha conversión tiene un costo que hace que, a pesar que la extracción de carbonato sea más económica, el hidróxido resultante luego de transformar el carbonato sea competitivo con el hidróxido resultante de la extracción de roca.

## Cuestiones técnicas en la obtención de hidróxido y carbonato de litio

Para la obtención de hidróxido de litio y carbonato de litio existen dos alternativas. Una corresponde a la conversión de minerales de roca, principalmente espodumeno. Estos tipos de depósito son dominantes en Australia, China, Portugal y Zimbabue. En ALC, los depósitos dominantes son salmueras o salmueras por lo que

la tecnología utilizada es la de evaporación solar. Este es el caso en Argentina y Chile. La misma tecnología de evaporación es utilizada en forma predominante en Alemania y Estados Unidos. De los dos tipos de depósitos (salmuera o roca) se puede obtener tanto hidróxido de litio como carbonato de litio.

### Etapas del proceso de Refinado



El proceso evaporítico para la producción de litio consiste en:

- El bombeo de las salmueras de los salares en grandes piscinas.
- La evaporación solar de las aguas que precipitan sales.
- Cosecha selectiva –se descartan las sales y minerales que no contienen litio—de solución concentrada de litio, que se transforma en carbonato de litio mediante un proceso químico.

Este proceso puede durar entre 18 y 24 meses, y es el más utilizado para la producción de carbonato de litio en salares.

Existen nuevas tecnologías y estrategias para la producción de litio que permiten procesar directamente la salmuera en hidróxido de litio, sin necesidad

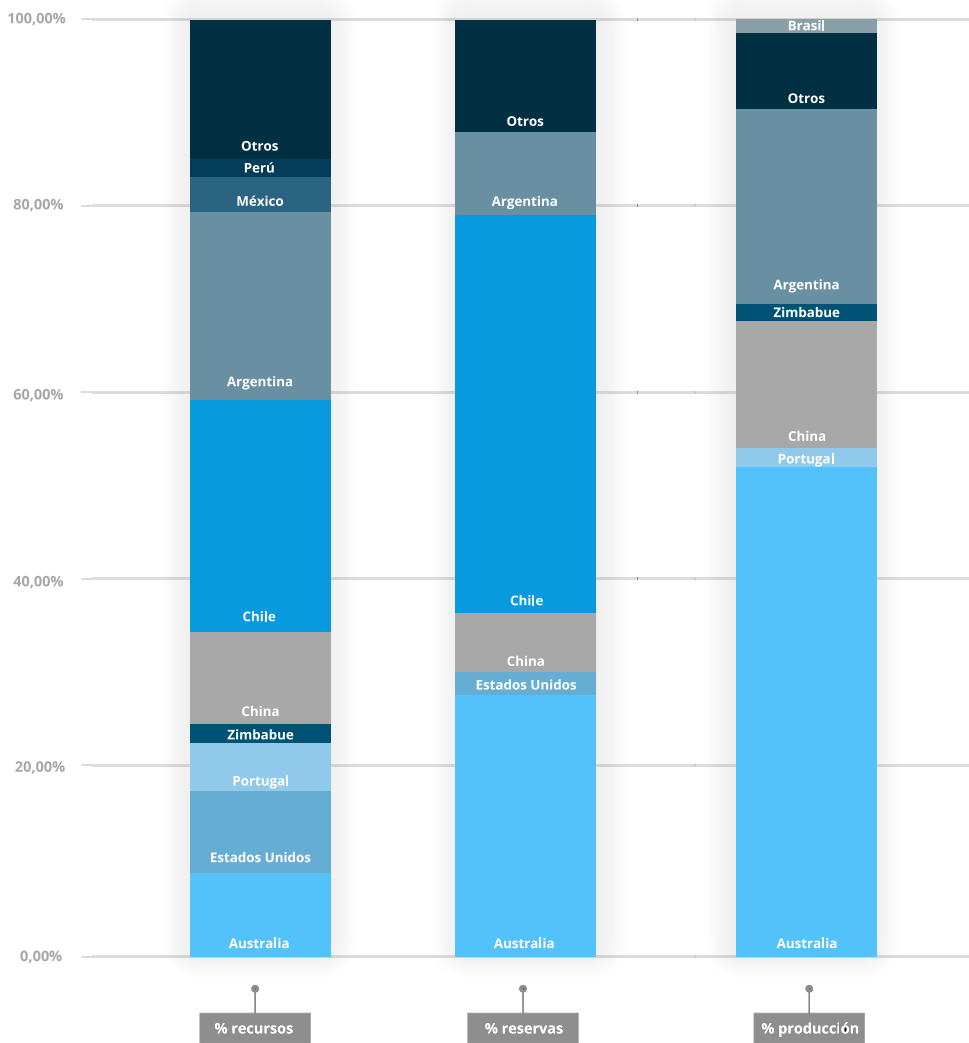
de evaporar el agua ni generar residuos sólidos. La extracción directa del litio (DEL, por sus siglas en inglés) tiene la ventaja de ser más rápida, eficiente y sostenible que la evaporación solar, ya que reduce el tiempo de producción, y permite la reinyección de salmueras en los salares (sin litio). Este tipo de tecnología permite además aprovechar recursos de baja ley que no serían rentables con la evaporación solar, así como operar en condiciones climáticas adversas. Algunos desafíos de la DEL son los altos costos de inversión y operación, la necesidad de agua dulce complementaria en el proceso productivo, y la necesidad de adaptación a las características químicas de cada salar. Existen técnicas alternativas de DEL, pero son tecnologías emergentes muy prometedoras. En sus distintas variantes, aún no han sido probadas a gran escala, sobre todo en lo que respecta a sus impactos ambientales, por lo que requiere de pruebas piloto y estudios de factibilidad adicionales antes de su adopción generalizada.

## 1.2 Una empresa Chilena lidera el mercado del litio que está muy concentrado

Existe una gran concentración geográfica en términos de explotación de litio y reservas probadas. El 49% de la producción a nivel mundial es realizada en Australia, pero en su mayoría por empresas extranjeras.

### Participación en recursos, reservas y producción de litio a nivel mundial

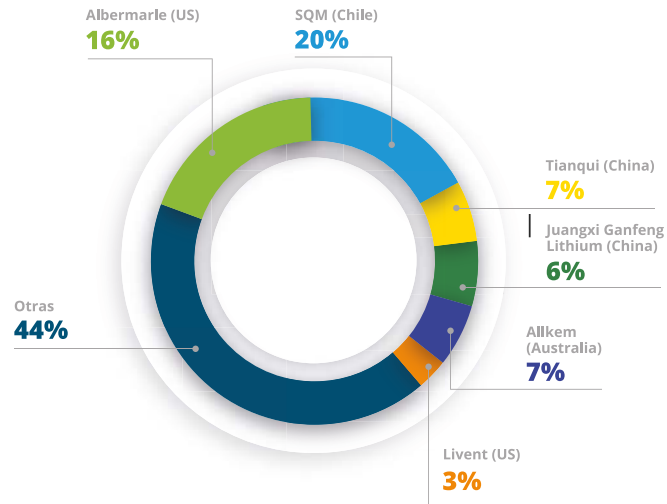
Datos 2022. Fuente: elaboración propia con datos de U.S. Geological Survey, 2022



También existe una gran concentración en términos de empresas. 5 empresas producen más del 50% del mercado. La líder mundial en 2022 ha sido la empresa Chilena SQM con 20% de la producción.

## Principales empresas productoras de litio a nivel mundial

Datos 2022. Fuente: Elaboración propia con datos de Statista and World Economic Forum, 2022

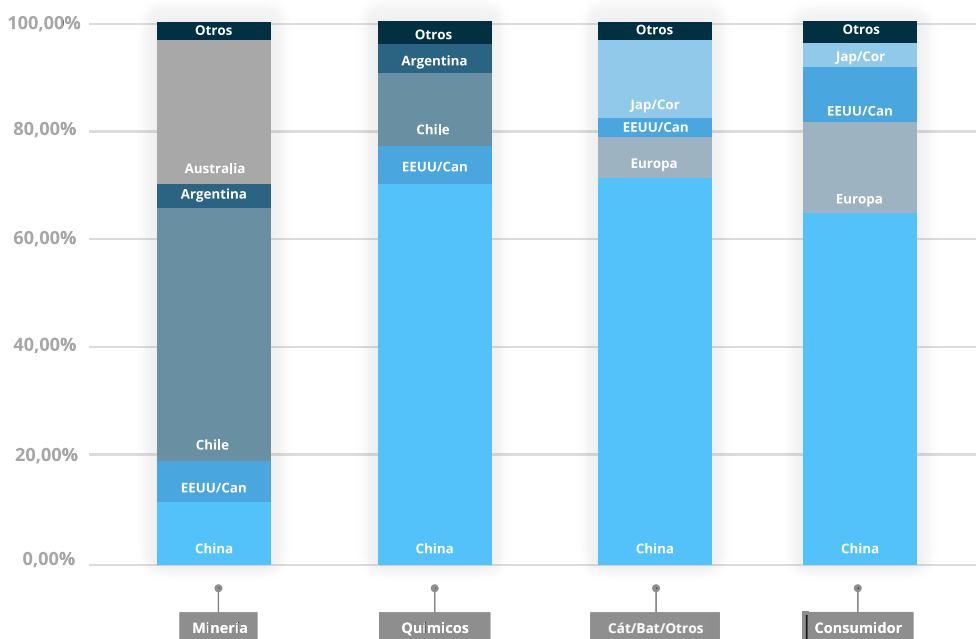


## 2. Eslabones intermedios de la cadena: explicación del liderazgo chino

En 2022 el mercado global de materiales para la elaboración de cátodos fue evaluado en 21 mil millones de dólares y se espera que dicho mercado doble su crecimiento en menos de una década. Actualmente, la producción de cátodos se encuentra principalmente en China y está ubicada en su mayoría dentro de Asia, con aproximadamente un 93% del volumen total mundial en 2019.

### Localización de las principales actividades en la cadena de valor de baterías

Fuente: Elaboración propia con datos de iLi Markets (2023)



### Las etapas intermedias se realizan en su mayoría en Asia por distintas razones



Gran demanda de VE local, lo que estimula el desarrollo de la cadena de valor hacia arriba.



Bajo costo de la energía (y en menor medida de la mano de obra).



Economías de escala en la producción, ya que al haber un mercado tan grande y al concentrar tanta producción, se abaratan costos.



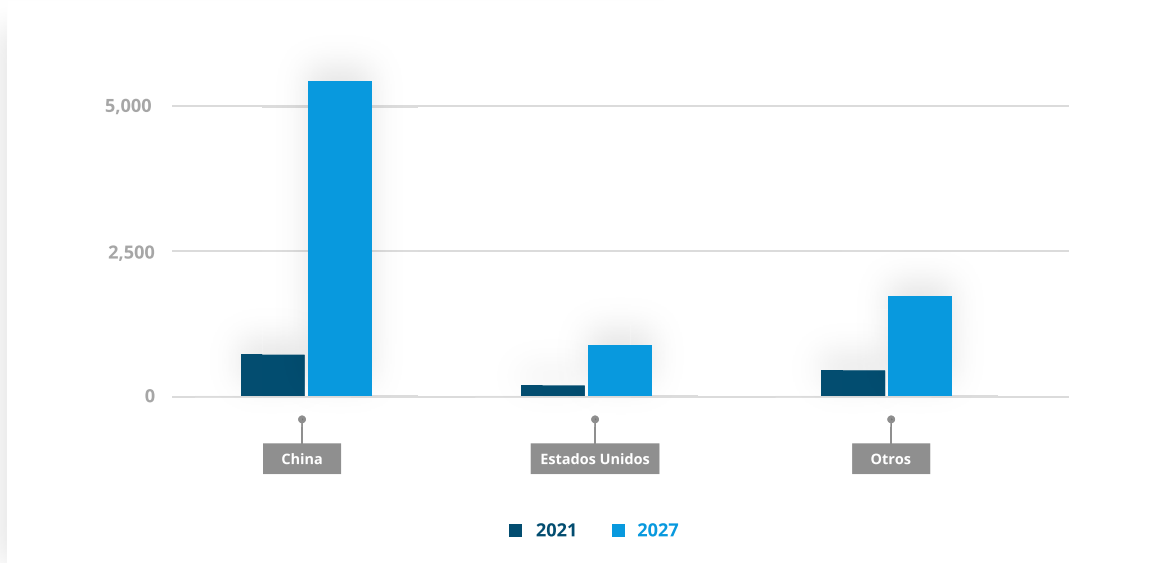
Know-how y disponibilidad tecnológica.

Tanto el proceso de manufactura de celdas como el posterior ensamblaje de baterías son procesos que están altamente relacionados. Se está viendo una tendencia mundial hacia la integración vertical en el proceso industrial, sobre todo en aquellas localizaciones cerca de los centros de consumo de VE y en donde se espera el mayor potencial de crecimiento de dicha demanda. Así, los materiales precursores se fabrican directamente en plantas químicas de baterías o se toman celdas prefabricadas y se las convierte en baterías. La fabricación de packs de baterías es un paso que se ubicará en lugares cercanos de donde se realiza la fabricación de VE por cuestiones de seguridad y por costos de transporte.

La integración vertical por economías de escala se da por lo que representa la parte industrial de la producción de VE, es decir por eficiencia de costos. Sin embargo, la decisión de integrar la extracción de minerales se explica por la necesidad de asegurar el suministro de los minerales.

#### Capacidad de producción de baterías

(GWh). Fuente: Elaboración propia con datos de Bhutada, 2023.



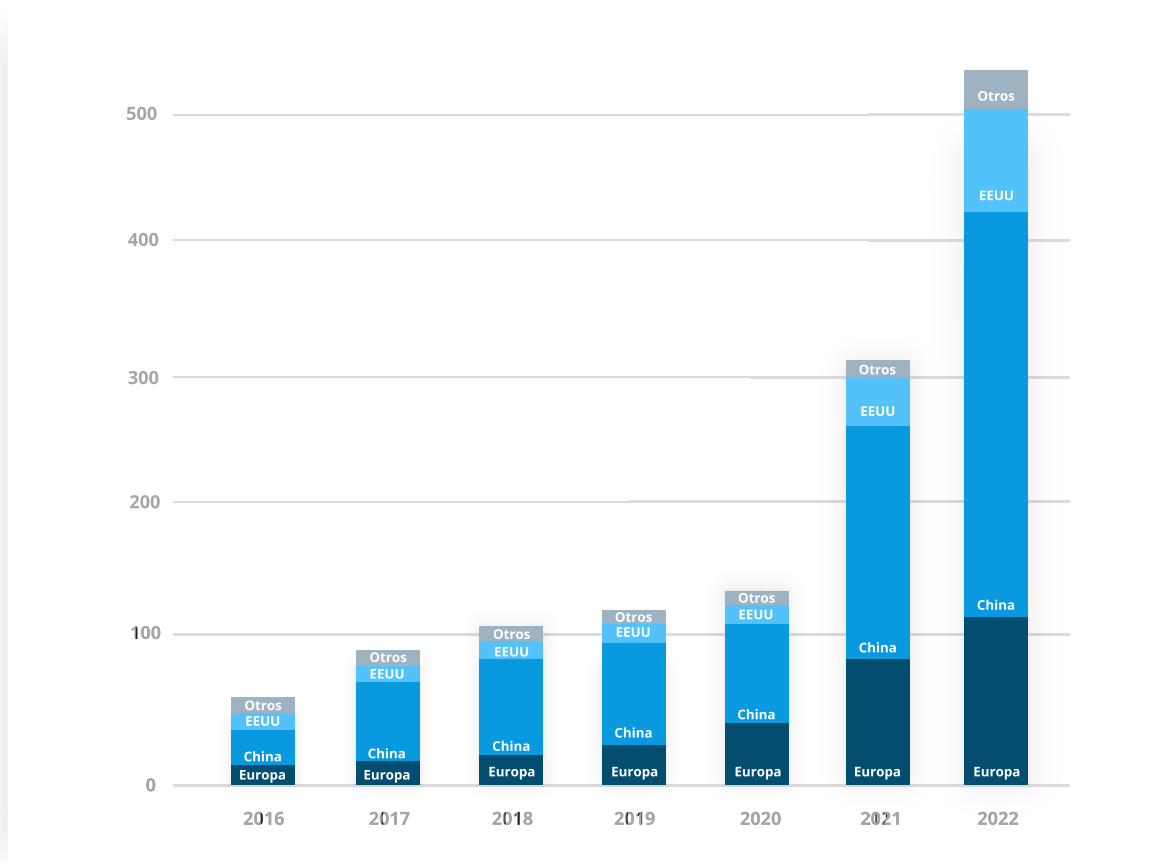


## 2.1 La demanda mundial de baterías, impulsada fundamentalmente por demanda china, ha crecido en forma exponencial y seguirá creciendo

China, Europa y Estados Unidos presentan crecimientos acelerados en la demanda de VE. Mientras tanto, el resto del mundo presenta crecimientos más lentos en términos de ventas de VE y, por lo tanto, baterías y sus componentes. Esto debido a varias razones: falta de compromiso de los gobiernos con la promoción de VE, infraestructura de carga insuficiente o inadecuada, oferta limitada de modelos de VE, altos precios en comparación con la oferta disponible en el país y diferencias culturales en cuanto a los modelos de movilidad.

### Progresión de la demanda mundial de baterías por región

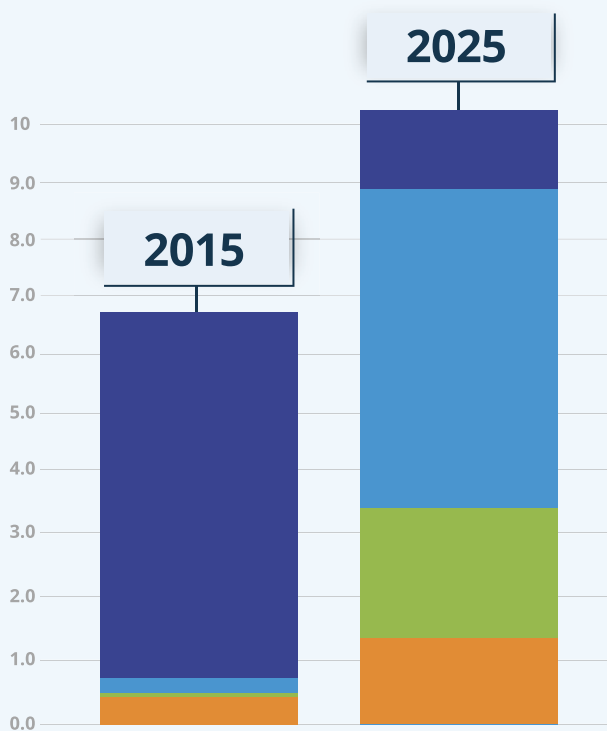
(GWh/año). Fuente: elaboración propia con datos de Bhutada 2023



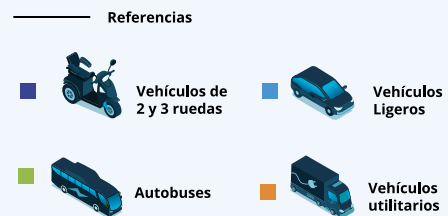
## Los vehículos eléctricos substituyen 726 millones de barriles de petróleo al día a nivel mundial, y podrán substituir más del doble ya desde 2025

A medida que los VE en todas sus formas (vehículos individuales, autobuses y vehículos comerciales) substituyen vehículos convencionales, desplazan también la demanda de petróleo y la substituyen por demanda eléctrica. Aunque la importancia estratégica de esta nueva tecnología sea muy grande, así como la importancia de los materiales que com-

ponen los VE y sus baterías (níquel, cobalto, manganeso, litio) junto con los materiales necesarios para las interconexiones eléctricas necesarias (cobre y en menor medida aluminio), el mercado de dichos materiales aún es pequeño en comparación al mercado del petróleo.



Barriles desplazados diariamente		
Vehículo	2015	2025
2 y 3 ruedas	674.3	1.1
Ligero	8.6	866.7
Autobuses	0.00	333.8
Utilitario	43.1	145.0
<b>Total</b>	<b>726.0</b>	<b>2.465</b>



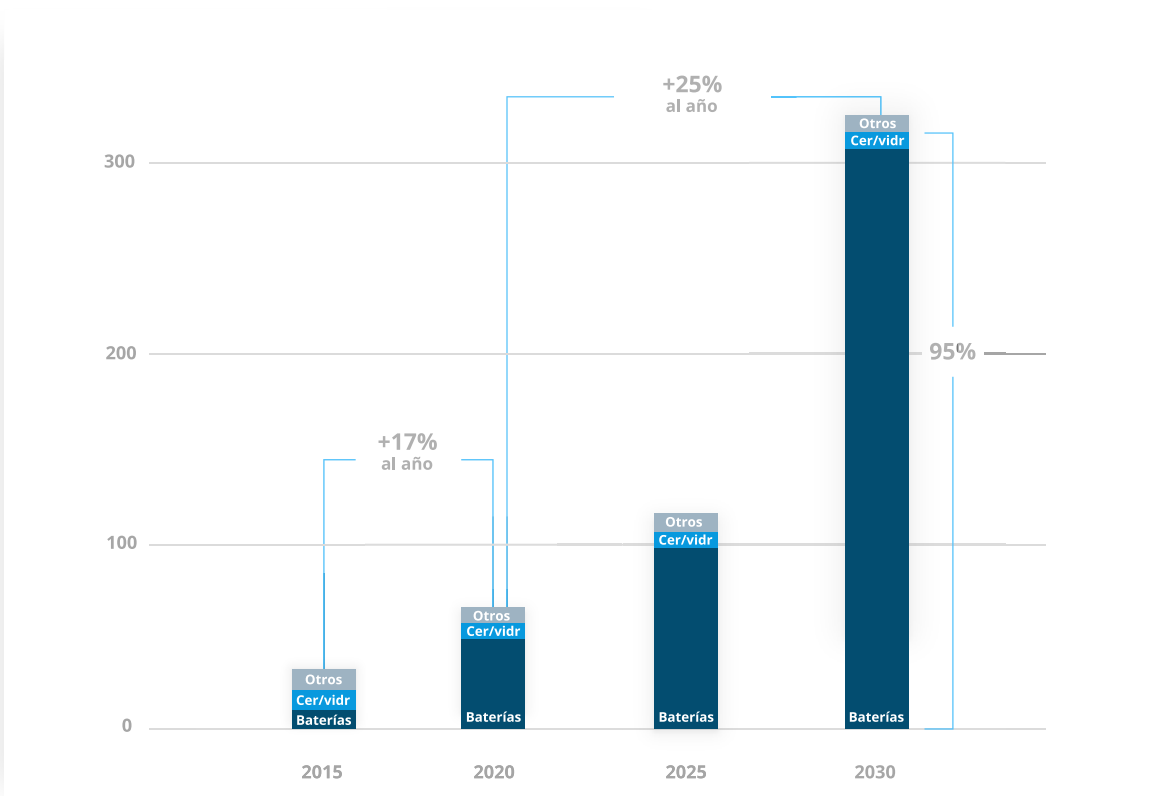
\*En miles. Fuente: BloombergBNEF.

### 2.1.1 El gran crecimiento proyectado en la demanda de baterías constituye el 95% de la demanda de litio

La demanda de baterías de iones de litio presentó un crecimiento anual de 17% en el periodo 2015-2020. En los próximos años la demanda va a crecer aún más, a 25% al año. Dicho crecimiento será explicado principalmente (95%) por la demanda de baterías como muestra el gráfico.

#### Determinantes del crecimiento proyectado en la demanda mundial de litio

Millones de toneladas LCE. Fuente: elaboración propia en base a Acevedo et al. (2022)



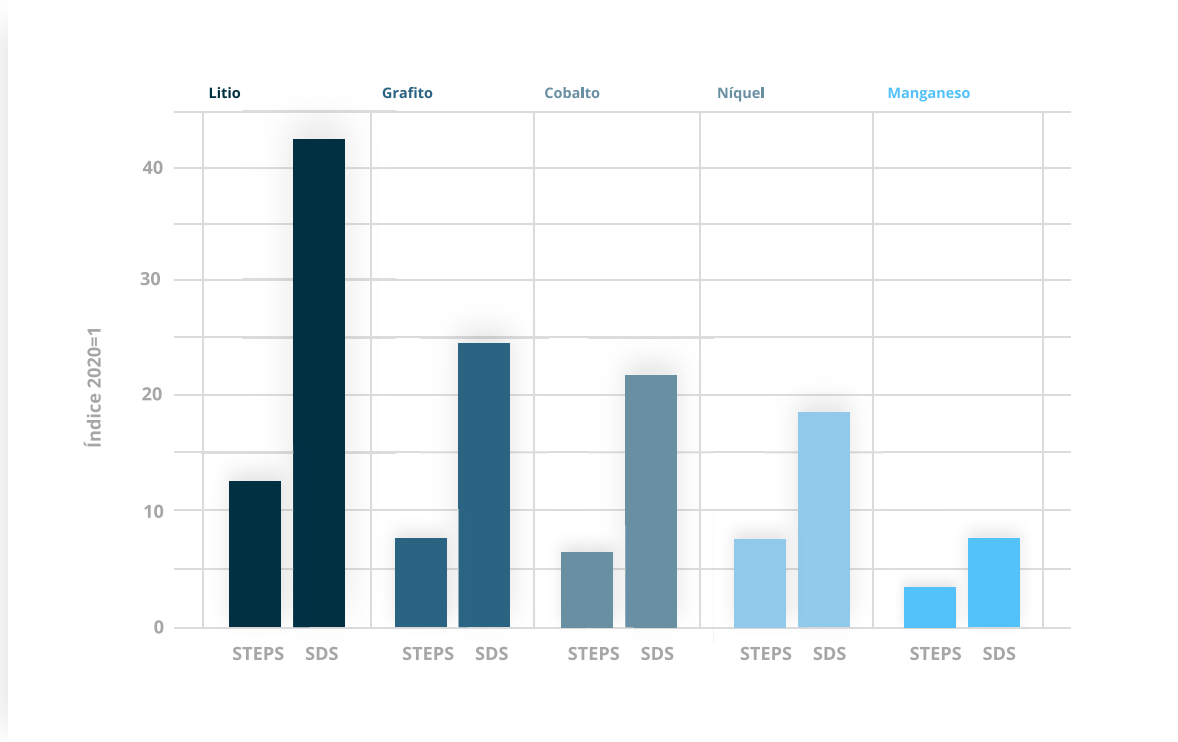
### 2.1.2 La demanda mundial de litio podría aumentar más del 40% de aquí al 2040

La utilización de baterías aumentará 11 veces entre 2020 (37 GWh) y 2040 (420 GWh) debido a la necesidad de electrificar usos actualmente ósiles, en particular el transporte. Esto implicará un aumento de la demanda de minerales de 33 veces entre estos mismos años (26 kt a 850 kt), donde el litio sufrirá el crecimiento más significativo (IEA, 2022). Como muestra la siguiente figura, la demanda de litio aumentará más del 40% de aquí al 2040.

## Crecimiento de la demanda mundial de materiales críticos para la construcción de baterías al 2040

Fuente: Elaboración propia en base a IEA, 2022.

Leyenda: STEPS por el escenario IEA de políticas actuales y SDS por el escenario compatible con los acuerdos de París.



### ¿Podemos hacer vehículos eléctricos sin litio?

En el horizonte de la industria de VE se cierne una cuestión relevante: ¿es posible construir VE sin depender del litio? Actualmente, se está investigando una variedad de materiales alternativos que podrían servir como insumos críticos para las baterías que van desde el sodio, el potasio, el magnesio, el calcio, el zinc, hasta el aluminio.

Además, se están explorando diversas combinaciones de tecnologías, como las baterías de flujo redox de vanadio. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha descubierto un sustituto viable que pueda cumplir con las demandas técnicas de las baterías de iones de litio, que ofrecen una alta densidad de energía y durabilidad excepcional.

### 3. Potencial de desarrollo de la cadena en ALC: interacción entre mercado y regulación

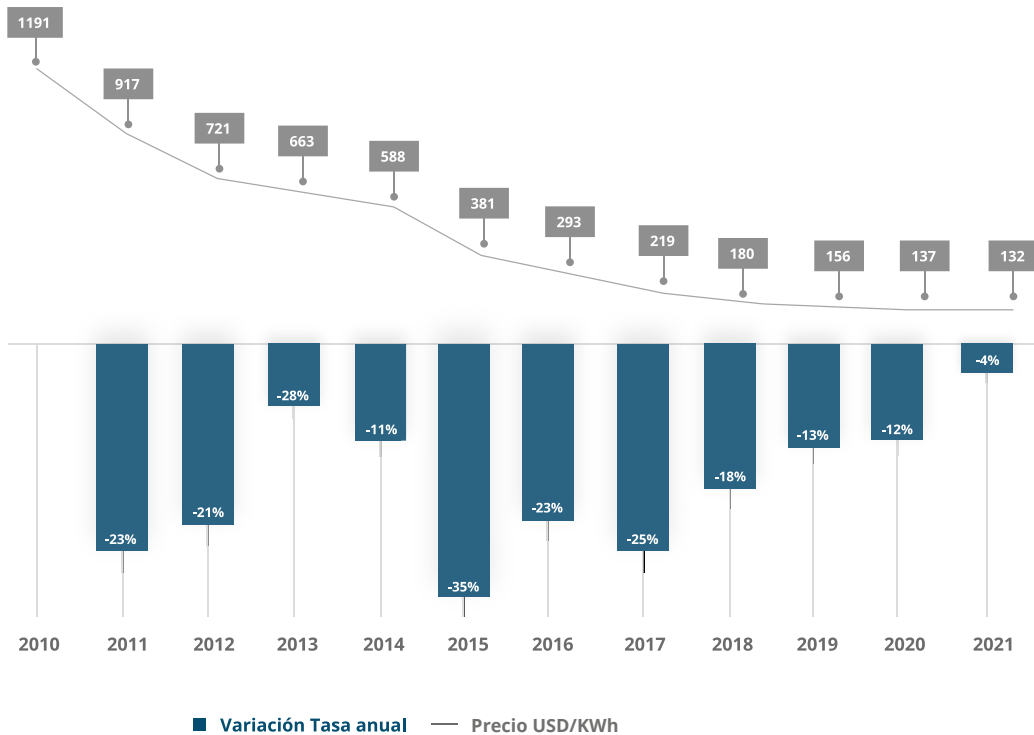
La sección precedente ha puesto en evidencia como el determinante fundamental en el desarrollo del mercado de las baterías es la demanda de VE. A nivel mundial, existen múltiples elementos que han facilitado este acelerado crecimiento en la demanda de VE y de las baterías, algunos de los cuales son:



La disminución en los costos de las baterías ligada a la producción a gran escala y la inversión de capital en el proceso de producción de baterías hicieron que las baterías fueran más baratas y eficientes. Los costos de las baterías se redujeron a unos USD 132 por kWh en 2021 y se espera que disminuyan aún más en los próximos años. La curva de aprendizaje que se observa en el gráfico siguiente también puede ser aprovechada por ALC, beneficiando de costos más bajos hoy para la producción de baterías y EV que hace 10 años. Esto dependerá a su vez de que los precios de los materiales constitutivos de dichas baterías sigan siendo razonables.

#### Precio de baterías de litio para VE

(USD/kWh). Fuente: elaboración propia en base a BloombergNEF 2022.







El surgimiento de nuevos modelos de negocio y estrategias de las empresas automotrices.

Anuncios recientes de las compañías han dejado en claro que planean más modelos de VE durante la próxima década. ALC podrá beneficiarse de esto si la regulación facilita la implantación de las infraestructuras necesarias así como la implementación de estos nuevos modelos de negocio.



Políticas públicas. Política industrial para el desarrollo de las etapas intermedias e intervenciones para el impulso de las ventas de VE, como lo demuestran casos exitosos como el noruego.

- Estándares de acuerdo con objetivos de ahorro de combustible y emisiones.

Estos difieren entre los mercados y están bajo constante revisión y consulta por parte de los gobiernos, incluyendo restricciones a los vehículos de combustión interna (ICE). Los gobiernos de las ciudades han liderado el camino en la imposición de prohibiciones o impuestos punitivos a los usuarios de motores de combustión más antiguos, abordando las crecientes preocupaciones sobre la contaminación tóxica del aire. Algunas de las ciudades que han implementado este tipo de restricciones son Amsterdam, Barcelona, Bruselas, Madrid, Ciudad de México, Roma y Seattle. Varias ciudades del Reino Unido también presentaron planes para prohibiciones y zonas de cero/bajas emisiones. A lo largo de la próxima década, esperamos que esta tendencia continúe a medida que las ciudades de todo el mundo luchan contra la contaminación del aire.

- Incentivos financieros, algunos gobiernos han ofrecido incentivos financieros para facilitar la transición.

Como proporcionar subsidios en efectivo a los consumidores que compran VE, reducir los impuestos y aumentar o mantener los impuestos sobre los vehículos ICE. A pesar de esto, a medida que los VE alcanzan la paridad de precios con los vehículos ICE, algunos gobiernos han explorado la posibilidad de reducir dichos incentivos.

- En algunos mercados el precio de los VE ya ha alcanzado la paridad con los vehículos ICE, esto al considerar los subsidios ofrecidos por los gobiernos y el costo total de propiedad estimado.

En las siguientes secciones estudiamos el potencial de desarrollo de VE en función de las políticas implementadas.

### Los precios en los materiales constitutivos de las baterías son volátiles en el corto plazo lo que dificulta las inversiones

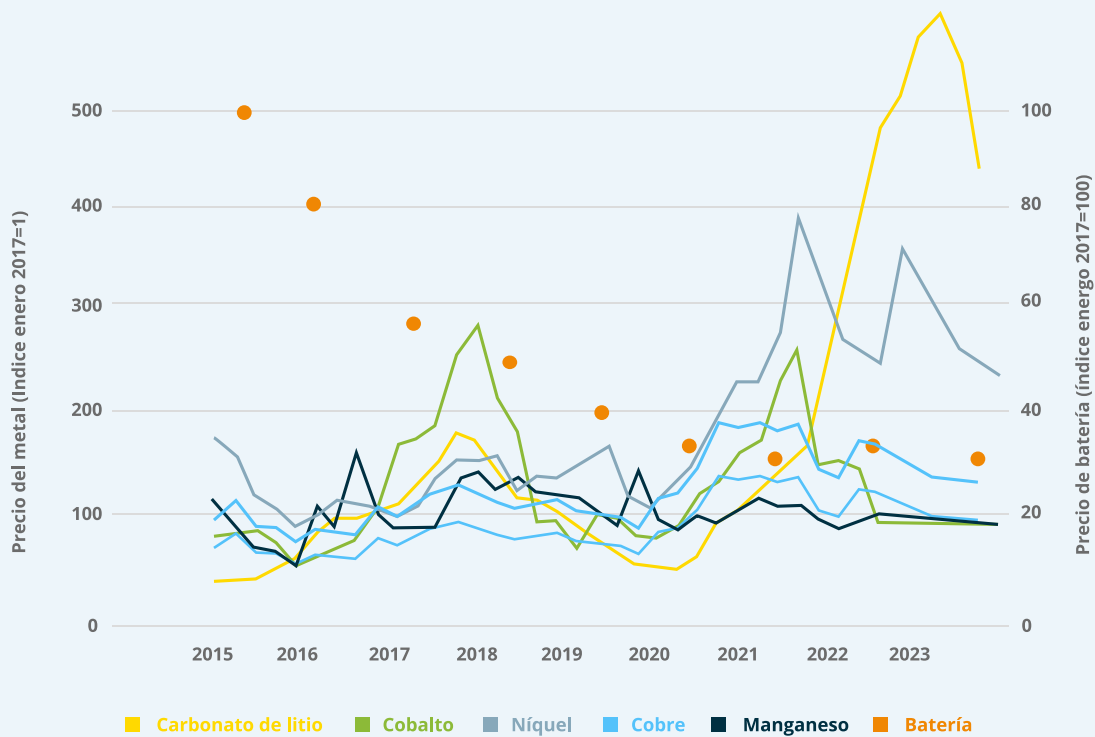
Para el desarrollo de la cadena de valor en ALC serán necesarias inversiones importantes. La volatilidad de los precios no contribuye a la creación de un flujo sostenido de inversiones debido a la incertidumbre.

Aunque se observa un incremento en la demanda de baterías muy importante en el mediano y largo plazo así como en los materiales críticos para su elab-

boración, los precios en el corto plazo son muy volátiles dada la concentración de la oferta en pocas manos, así como la importancia de las relaciones verticales que aseguran a los fabricantes de baterías el suministro de materias primas. Los mercados de estas materias son por tanto ilíquidos (pocas transacciones a la semana) y volátiles (la concentración hace que las acciones de una empresa sola pueden provocar variaciones importantes en los precios).

### Variación histórica en los precios de los metales utilizados en baterías

Fuente: Elaboración propia en base a IEA, 2022.

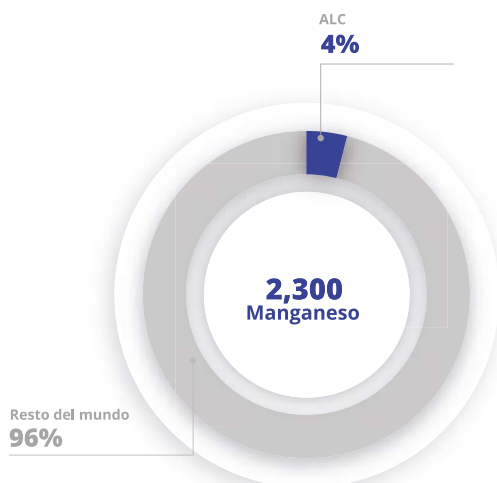
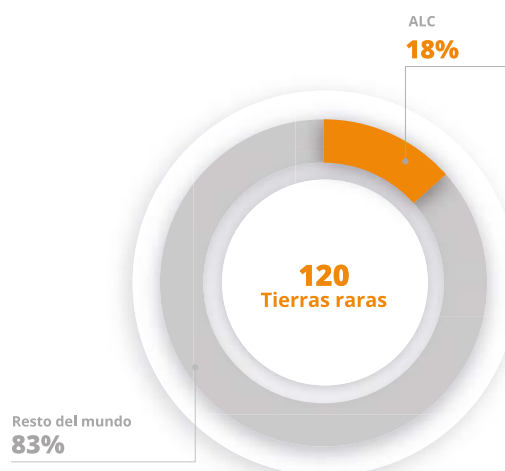
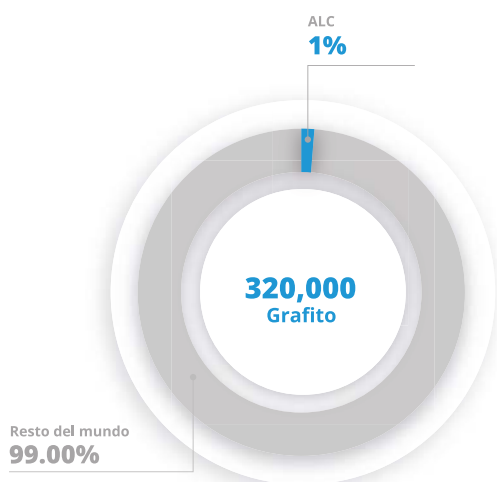
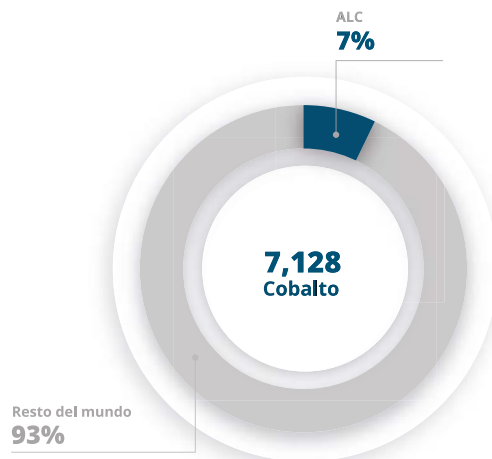
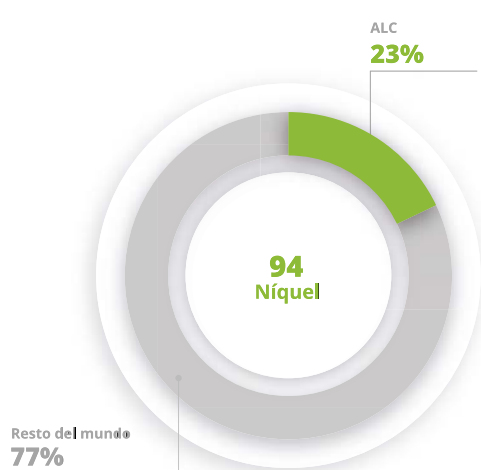


### 3.1 ALC puede profundizar su participación en la cadena de valor de otros materiales necesarios para la producción de baterías

También serán necesarios los otros elementos críticos para la producción de baterías: níquel, cobalto, grafito, manganeso y tierras raras. El 23% de las reservas mundiales de níquel se encuentran en ALC, así como el 7% de reservas de cobalto, el 17,5% de tierras raras, el 4,1% de manganeso y tan solo el 1% de grafito. Sin embargo, muchas de estas reservas no son explotadas actualmente.

### Porcentaje de reservas de materiales críticos en 2020

(Millones de toneladas). Fuente: Elaboración propia en base a U.S. Geological Survey, 2022.



## Iniciativas regionales en materiales críticos

La mina Tocantins de níquel y cobalto en Brasil, por ejemplo, ha sido cerrada en 2016 debido a los bajos precios del níquel. Antes del 2016 era un gran productor de níquel de clase 1 y metal de cobalto puro, ambos producidos en la refinería de Sao Miguel Paulista en Sao Paulo. Esta refinería representa el único activo de níquel y cobalto que ya ha sido explotado en la región, y que es adecuado para la conversión a cátodos.

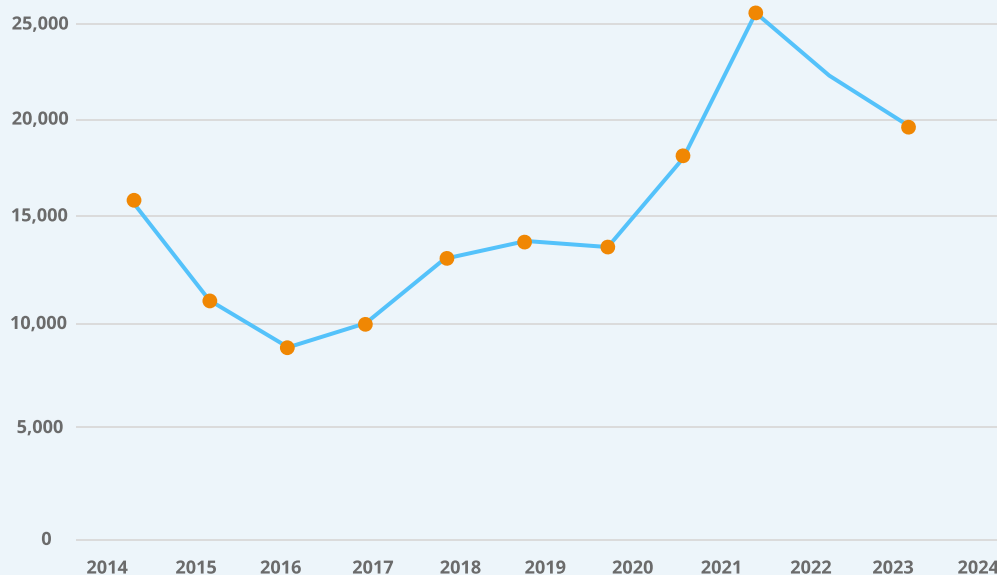
Como un paso en este sentido, la minera brasileña Vale firmó un contrato de largo plazo con el fabricante de VE Tesla para el suministro de níquel de baja emisión de carbono a partir de sus operaciones en Canadá. En el caso de firmarse un

un acuerdo subregional y no meramente para exportación del mineral hacia Estados Unidos, la región puede ampliar su participación en otras etapas.

El pasado 28 de junio 2023 BHP, minera líder a nivel mundial, ha invertido 79 millones de dólares en el yacimiento Filo del Sol de cobre en Argentina, en provincia de San Juan. El creciente interés en este sitio está justamente ligado al desarrollo del cobre que si bien no es necesario para la producción de baterías es necesario para la expansión de la red eléctrica que será necesaria para conectar todos los VE.

## Precio promedio del níquel

(Dólares/toneladas). Fuente: Elaboración propia basada en Statista, 2023.

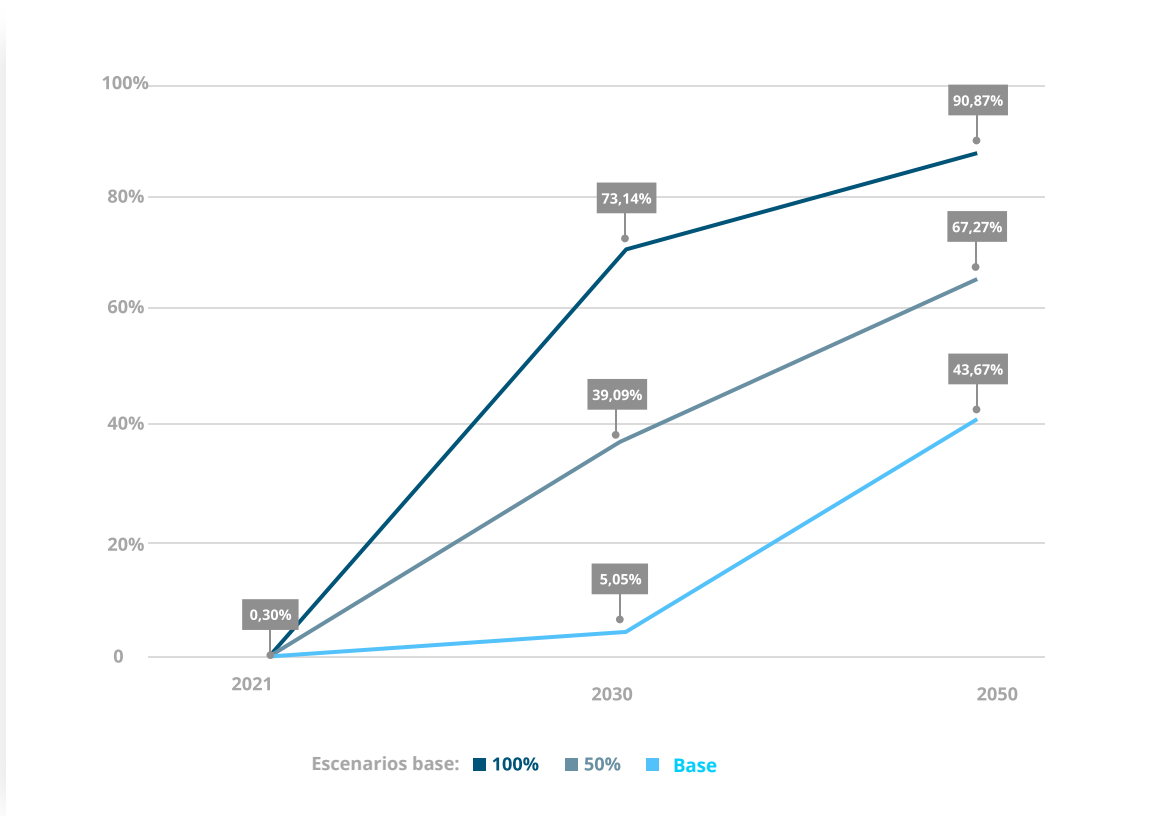


### 3.2 Desarrollo de la demanda: los VE podrían alcanzar 91% del registro de nuevos vehículos en ALC

Si todas las políticas destinadas a la promoción de la adopción de VE en la región son llevadas a cabo en forma cabal, dado el crecimiento proyectado del parque automotor en relación al crecimiento del PBI, los VE podrían representar un 91% del registro de nuevos vehículos en 2050 en ALC. Si bien un tal crecimiento sería insuficiente para el objetivo de carbono neutralidad a la mitad del siglo, es una proyección alentadora si consideramos que es probable que nuevas políticas de incentivos suplementarios sean aprobadas de aquí a 2030.

#### Participación de VE en el total registro de nuevos vehículos en ALC

Fuente: Elaboración propia en base al análisis realizado en Apéndice.



Este nivel de adopción representa 5.7 millones de unidades en 2050 en el escenario 100%. Si bien esto representaría casi 91% de las nuevas inscripciones, el mercado latinoamericano es pequeño en comparación a los mercados del norte. Por ejemplo, en 2021, los tres países más grandes de la Unión Europea han matriculado una cantidad de vehículos individuales superior a esta cifra con casi 3 millones en Alemania, poco más de 2 millones en Francia y en Reino Unido, de los cuales eléctricos puros fueron 18%, 14% y 17% respectivamente en cada uno de estos tres países.

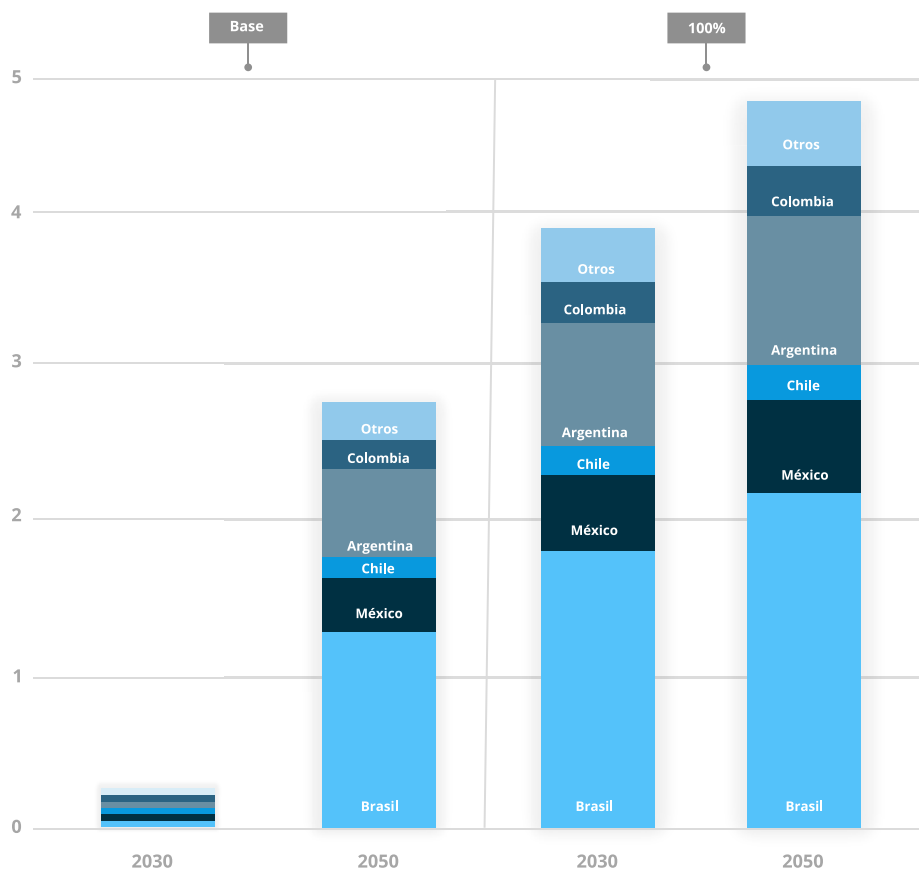


Dicha transformación constituye a la vez una oportunidad y un desafío para la región en su conjunto. El desafío se presenta sobre todo desde el punto de vista normativo y regulatorio así como en términos de financiamiento. Implica la total transformación del parque automotor de los países de ALC, lo que requiere la creación de la normativa para la gestión de una nueva infraestructura (recarga de vehículos, mantenimiento, etc.), y de procesos industriales. Dicha transformación también requiere importantes inversiones del sector público, así como la atracción de inversión privada. Esta gran transformación es una oportunidad ya que permite mejorar el servicio de transporte y a su vez descarbonizar la flota de todo tipo de vehículos sorteando algunos problemas presentes en países desarrollados. Por ejemplo, la creación de plataformas para compartir VE puede ayudar a mejorar el acceso al transporte evitando la congestión en zonas periurbanas y disminuyendo las emisiones globales y locales.

El gráfico muestra la composición de la demanda por país en los dos escenarios extremos desarrollados. Más del 50% de dicho desarrollo se concentraría en Brasil y México.

### Demanda de VE en dos escenarios extremos

Millones de Inmatriculaciones. Fuente: Elaboración propia en base al análisis realizado en Apéndice.



## En ALC la electrificación vehicular iniciará por el transporte público

Mientras que los VE son todavía más costosos que sus equivalentes de fuentes fósiles, los autobuses eléctricos ya son competitivos en la región y la renovación de la flota se está realizando casi enteramente por eléctricos.

El gráfico muestra una comparación para el caso de Lima del costo total de propiedad (TCO) a 14 años de tres opciones de autobuses discriminando por fuente de costos. Observamos que el autobús eléctrico es competitivo en relación a las demás opciones.

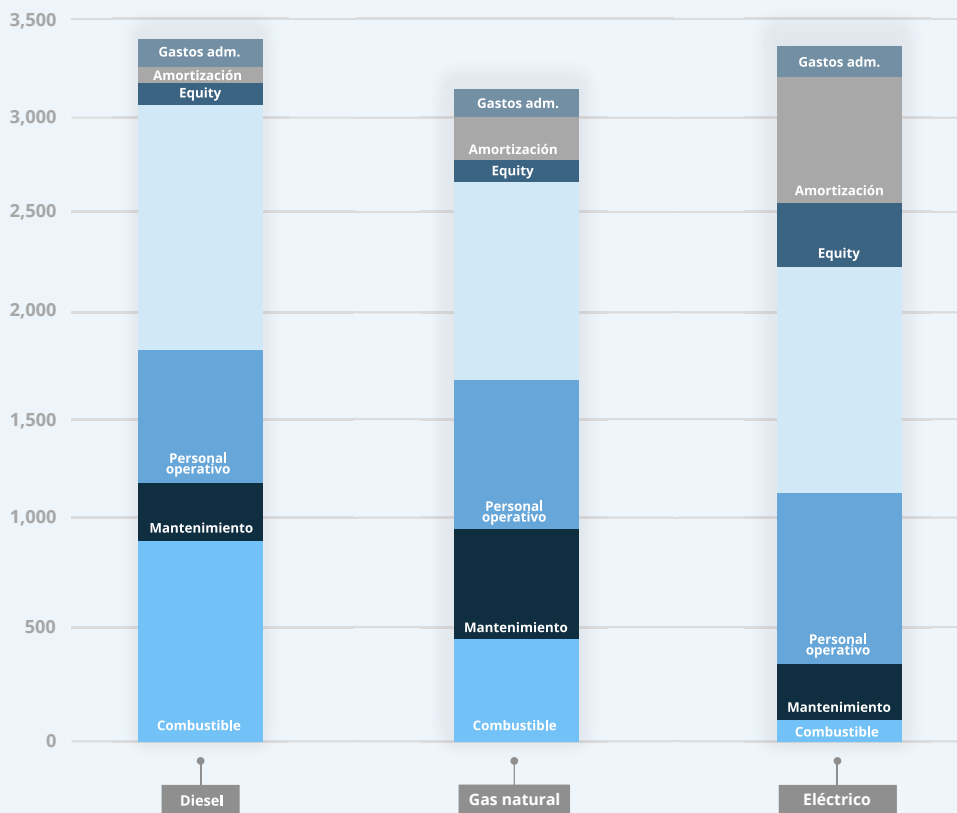
Esto puede implicar una mayor demanda de litio dado que las baterías en autobuses son más grandes y requieren mayores cantidades de litio como insumo para su producción.

La regulación, además, está bastante avanzada en este sentido con una flota ya presente en Costa Rica, Colombia y Chile. De hecho la flota en Costa Rica es superior a la flota presente en California, conocida como ejemplar en términos de políticas pro-carbono neutrales.

### Comparativo en el TCO para tres tipos de autobuses en Lima, Perú

En miles de dólares. Fuente: Beltrán et al. 2021.

TCO a 14 años con financiamiento comercial (s./)



## Gobiernos con objetivos de electrificación de autobuses

Fuente: elaboración propia (solo américas) en base a ICCT, 2023.



### Referencias

- Autobuses nuevos
- Todos los autobuses
- Nuevos autobuses interurbanos
- Nuevos autobuses urbanos

\*1 Memorando de entendimiento entre algunos estados en Estados Unidos.

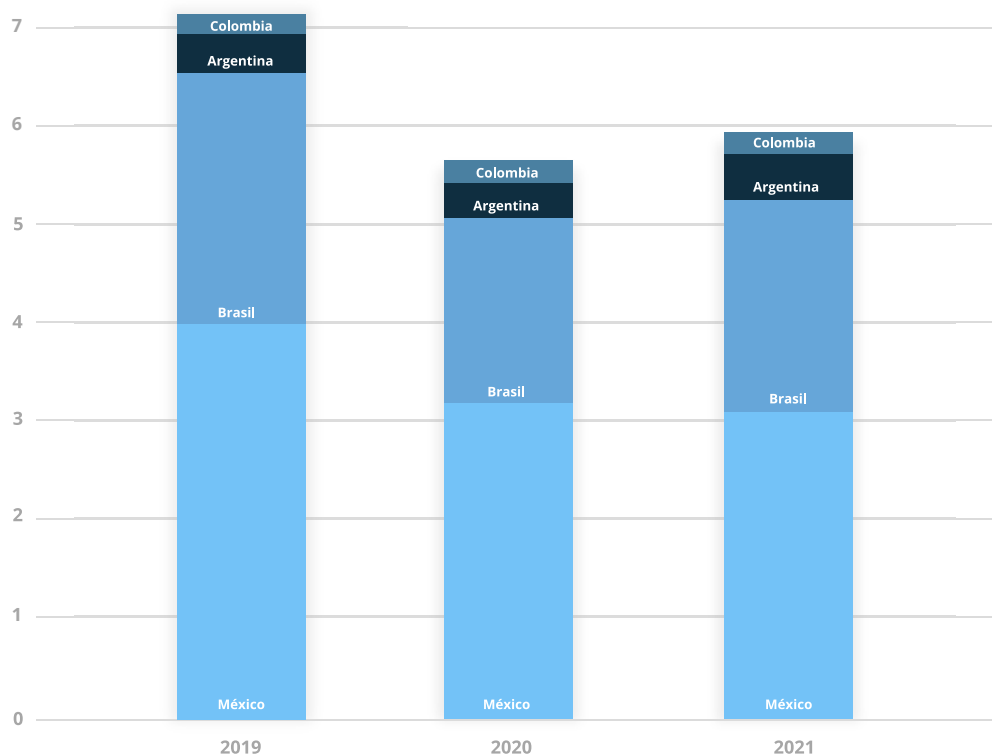
\*2 Memorando de entendimiento global.

### 3.3 Oferta: la producción interna de VE en ALC podría alcanzar 6.19 millones de unidades al 2050

ALC tiene una fuerte industria automotriz, la cual presentó una producción de 5.87 millones de vehículos en 2021, donde los principales productores son México con 3.1 millones y Brasil con 2.2 millones en 2021. La industria automotriz de ALC tiene como principales mercados el consumo dentro de ALC y Estados Unidos, con una pequeña participación de Europa. México es el principal país exportador de vehículos fuera de ALC.

#### Producción de vehículos en ALC

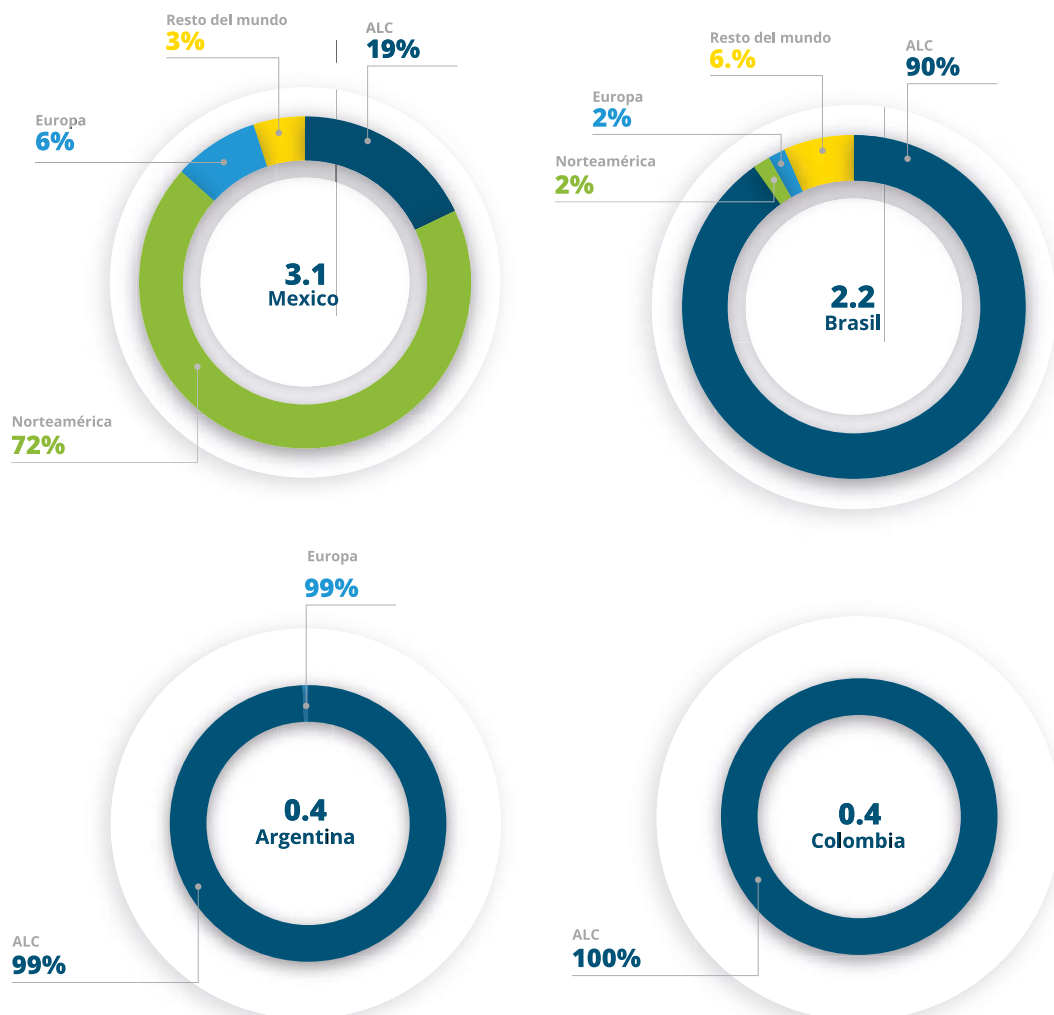
Millones de unidades. Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas 2022 consultadas de OICA, AMIA, ANFAVEA, ADEFA, CCFA



Tomando la producción por país y aplicándole la tasa de crecimiento del PIB proyectada por el FMI al 2050, se estima que la producción de vehículos de todo tipo en ALC alcanzará 7.51 millones de unidades en 2050 (6.34 millones en 2030) con una tasa de crecimiento del 0.8% para el periodo 2022-2050. Estas proyecciones pueden ser consideradas como un límite superior para las proyecciones de ventas de VE.

### Destino de los vehículos producidos

Millones de unidades. Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas 2022 consultadas de OICA, AMIA, ANFAVEA, ADEFA, CCFA



Considerando la electrificación del parque de los mercados de destino de la producción de automóviles en ALC así como las proyecciones de crecimiento del PIB del FMI podemos calcular el crecimiento de la producción de cada uno de los países productores actualmente así como la producción total de ALC.

### Pronóstico de producción anual de VE en ALC

Fuente: elaboración propia según Análisis en Apéndice.

-	México	Brasil	Argentina	Colombia	Total (en millones de unidades)	Total en GWh	Total en toneladas
2025	163,519	115,993	9,526	2,105	291,143	19	16,788
2030	1,462,822	1,202,534	65,146	17,167	2,747,669	181	158,437
2040	2,732,035	1,714,723	237,475	26,966	4,711,199	310	271,660
2050	3,706,438	2,095,123	349,893	35,144	6,186,599	408	356,735

La química NMC es actualmente la más popular debido a su rendimiento y su fabricación relativamente económica. Estas baterías cuentan en promedio con 0.875 kg LCE por kWh y una capacidad de 65.9 kWh, por lo que se estiman 57.7 kg LCE por VE. Dado que hemos estimado 6.2 millones de unidades en 2050, con esta tecnología requeriríamos 408 GWh y 356,735 toneladas de LCE en 2050.

#### 3.3.1 Reciclaje: potencial en ALC para desarrollar el último eslabón de la cadena

Se estima que 12 GWh en 2050 podrían provenir de baterías recicladas en ALC y 65% del costo de la batería nueva son los materiales primarios en ella por lo que el reciclaje representa una oportunidad económica importante. La pérdida de capacidad de la batería limita su uso en VE pero se pueden reutilizar para una “segunda vida” en aplicaciones alternativas dado que retienen 70% de su capacidad inicial o ser recicladas para recuperar materias primas. El estimado de costo de la batería de segunda vida varía de US\$40-160/kWh dependiendo del costo de reutilización.

El valor de los materiales extraídos de una batería actualmente en los mercados donde ya se realiza es de 15.82 USD por cada kWh.

#### Volumen, porcentaje de reciclaje y valor de los minerales en una batería

Fuente: Elaboración propia basada en Dai et al., (2019) y Dunn et al. (2022)

Mineral	Mineral en batería (kg/kWh)	Porcentaje de reciclaje (%)	Precio mineral (USD/kg)	Valor mineral reciclado (USD/kWh)
Litio	0.88	0.5%	10,19	0.05
Cobalto	0.24	85.0%	51,30	10,90
Manganeso	0.28	37.0%	3,10	0.32
Níquel	0.65	60.0%	11,30	4,41
Grafito	0.93	31.0%	0.52	0.15
<b>Total</b>				<b>15,82</b>

Además de un alto porcentaje de metales pesados (como cobre, níquel y litio), los productos químicos orgánicos y plásticos presentes en las baterías tienen una alta probabilidad de contaminar el suelo y el agua, si no se desecha adecuadamente. La incineración de baterías de iones de litio libera gases tóxicos, lo que resulta en la contaminación del aire, por lo que existe la necesidad del reciclaje de dichas baterías y su reutilización en aplicaciones de segunda vida.

Asimismo, los metales de alto valor, como el cobalto y el níquel, se encuentran concentrados y en regiones selectas del mundo. Por lo tanto, los metales reciclados y extraídos proporcionan una ventaja de costo sustancial para los fabricantes de equipos originales de baterías, así como para seguridad adicional contra interrupciones del suministro.

Para tener una idea de cuán importante podría ser el impacto de reciclaje en ALC hemos realizado un cálculo de las baterías que serían candidatas a ser recicladas así como la capacidad en GWh que podrían representar. Considerando el escenario intermedio (50% de los compromisos alcanzados) tendremos un total de VE inmatriculados en 2050 de 4.2 millones. Dada la capacidad promedio de las baterías VE eso representa una capacidad de 278 GWh de las cuales un 82% serían reciclables, es decir 230 GWh. Si consideramos que un 5% son en general recicladas en ALC nos da una capacidad reciclada en 2050 de 12 GWh.

### Estimación del mercado de reciclaje en ALC

Fuente: Elaboración propia en base a análisis realizado en Apéndice

-	Inmatriculación total de vehículos	Porcentaje VE en total (escenario 50%)	Inmatriculación VE (Unidades)	Inmatriculación VE (GWh)	Baterías candidatas a reciclaje (GWh)	Baterías recicladas (GWh)
2025	5,048,421	2.67%	134,869	9	-	-
2030	5,265,270	39.09%	2,058,433	136	2	0
2040	5,736,595	56.36%	3,233,362	213	145	7
2050	6,263,809	67.27%	4,213,936	278	230	12

Hay tres tecnologías principales para el reciclaje de baterías: la hidrometalurgia, la pirometalurgia y el reciclaje directo.

**La hidrometalurgia** emplea líquidos (disoluciones orgánicas y/o inorgánicas) para la recuperación y purificación de los materiales deseados<sup>2</sup>. Tiene la ventaja de que logra un alto porcentaje de recuperación en calidad suficiente para utilizarlos en baterías nuevas pero genera muchas aguas residuales.

**La pirometalurgia** emplea temperaturas de alrededor de 1.500°C para asegurar la calcinación, combustión (los compuestos a base de carbono) y fusión de todos los compuestos. La aleación de metales resultante se traslada a un proceso hidrometalúrgico para, a través de su disolución, obtener individualmente los materiales. Una de las ventajas de esta ruta respecto a la hidrometalúrgica es que reduce las fases de pretratamiento previas, así como la facilidad para gestionar, durante el proceso, el riesgo de incendios. Sin embargo, al usar calor algunos componentes como el electrolito o el grafito se pierden, además de utilizar mucha energía.

02 Se realiza un pretratamiento (principalmente mecánico): la lixiviación (ácidos, bases, líquidos iónicos, disolventes eutécticos profundos o bacteriana), a fin de recuperar los materiales activos, la purificación (cementación, extracción con solventes, membranas iónicas...), de cara a eliminar sustancias acompañantes que limiten la calidad de los materiales recuperados; y el acabado (que incluye actividades de electrolisis, cristalización, coprecipitación...) con el que se logran los precursores de material activo necesarios para futuros nuevos dispositivos.

**El reciclaje directo** se basa en la separación selectiva de los materiales activos (sin romper su estructura cristalina) y la posterior restauración de sus propiedades iniciales. Todo ello, orientado a lograr una mayor eficiencia y rentabilidad en el proceso, además de minimizar el impacto medioambiental.

Durante los últimos años, la industria del reciclaje de baterías ha crecido de la mano de empresas que, asociadas con fabricantes de automóviles, recolectan y reciclan este tipo de baterías alcanzando niveles de recuperación del 58%.

En cuanto al aspecto normativo, a nivel global, se vienen desarrollando estándares y regulaciones para las prácticas de reciclaje y reutilización de Baterías de litio. China y Europa son los líderes regulatorios en la actualidad.

En el caso de ALC, el reciclaje de baterías suele estar cubierto por regímenes más amplios de gestión de residuos sólidos. Solo el 55% de éstos se gestiona adecuadamente en rellenos sanitarios con importantes fallas en su recolección y la inexistencia de regulación específica, así como infraestructura para el reciclaje.

### Primeros pasos en el reciclaje de baterías

El reciclaje y renovación de baterías en ALC cuenta con distintos tipos de regulaciones. Podemos mencionar como ejemplo la regulación Argentina. La etiqueta energética vehicular en dicho país proporciona información precisa y relevante sobre el consumo específico de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por dicho consumo. Los datos informados en la etiqueta son medidos de acuerdo con los lineamientos establecidos en la norma IRAM/AITA 10274-1.

Asimismo, la Ley 26.184, establece que, ante la compra de una nueva batería, el comprador puede entregar la anterior y el comerciante está obligado a recibirla así como llevar un registro de los usuarios que le han entregado baterías en desuso y a entregarlas en un lugar de reciclado.

En la misma línea, la Resolución 383/21 – Etiquetado de CO<sub>2</sub> y Eficiencia Energética Vehicular que establece dicho etiquetado enuncia “que los fabricantes e importadores de vehículos automotores livianos deberán exhibir en sus salones y puntos de venta todos los modelos de vehículos en comercialización con una etiqueta comparativa de eficiencia energética vehicular a la vista y otra como inserto en la bibliografía de abordó”. EstoLo que implica una exigencia hacia las automotrices y un beneficio a los consumidores que contarán con información comparativa sobre sus consumos. ()



### 3.4 Regulación y gobernanza: distintos modelos de desarrollo y voluntad de participación en la cadena de valor de las baterías

Los modelos de gobernanza pública y privada elegidos para el desarrollo de las reservas de litio en la región definen reglas de juego fundamentales. En los países que disponen de reservas, los diseños institucionales y normativos establecen las condiciones iniciales para atraer inversiones, dar escucha a los actores interesados y la forma en que se movilizan conocimiento y capacidades técnicas requeridos para gestionar el segmento upstream (exploración, extracción y procesamiento básico) y mid/downstream (a lo largo de la la cadena de valor del litio). Se espera de ellos el fomento de condiciones que permitan 1. Producir litio de forma responsable, y 2. Mitigar los riesgos sociales y ambientales, a la vez que se maximizan los beneficios económicos de la actividad.

De buenos modelos institucionales para el desarrollo sectorial depende no solo que la región aumente su participación en la producción global de litio –32% hoy día– sino también que los países se beneficien del encadenamiento y desarrollo exitoso de los dos segmentos más rentables, como la producción de baterías y otros productos industriales derivados del litio y otros productos más sofisticados, como VE, celulares y otros dispositivos electrónicos.

Los países latinoamericanos están explorando distintos esquemas de gobernanza para desarrollar sus recursos minerales, como las cooperativas, las empresas públicas o mixtas, y las alianzas estratégicas con otros países (ECLAC 2022, Gutierrez et al forthcoming). Independiente-mente del modelo elegido, coinciden con la noción de que es posible una mayor diversificación económica y la generación de mayor valor agregado en torno a la actividad minera mediante inversión pública en investigación y desarrollo, fomento del capital humano y de servicios de in-fraestructura e institucionalidad pública dirigida a la creación de encadenamientos productivos (Lashitew et al., 2020; Columbia Center on Sustainable Investment, 2016, Anzolin 2021).

#### 3.4.1 Argentina: gestión provincial y coordinación nacional para la inversión privada

En Argentina, los esfuerzos más notables por establecer nuevas políticas para el desarrollo de la industria del litio han sido impulsados por las autoridades provinciales de Catamarca, Jujuy y Salta. Su accionar se ha enfocado en tres aspectos principales --con los estados provinciales en el rol de promotor de inversión y regulador—1. la coordinación interprovincial, 2. la revisión normativa y 3. la promoción de nuevas estrategias para generar valor en la cadena de la minería de litio.

Respecto de la coordinación interprovincial, han priorizado el establecimiento de nuevos espacios de diálogo y coordinación para homogeneizar sus prácticas y reducir la competencia entre las provincias por nuevas inversiones. Se firmó un protocolo sobre el litio y se estableció una Mesa del Litio con participación de las tres provincias en 2018, y refrendado en 2021, mediante un Tratado Interprovincial de Creación de la Región Minera del Litio. Las tres provincias, aunque de color político distinto, han dialogado en bloque con autoridades nacionales y en foros internacionales respecto de las condiciones para el desarrollo de la industria del litio.

Las provincias se han abocado a la revisión de sus normativas y procesos administrativos. Jujuy ha reformado el decreto que establece el marco de evaluación ambiental para la minería de litio en el mes de octubre de 2022. Las provincias de Salta y Catamarca, por su parte, han

notificado públicamente su intención de adherir al estándar internacional EITI en febrero de 2023, con vistas a aumentar la transparencia del sector, y siguen los pasos de Jujuy respecto de la normativa de aplicación. Dicho estándar establecer pautas para generación y disseminación de información sectorial y mecanismos de colaboración de gobierno, industria y sociedad civil.

Las provincias argentinas han explorado también, en conjunto con entidades públicas y privadas, distintas acciones para promover la inversión privada y para la generación de valor en torno a la industria del litio. En el marco de la labor de investigadores adscritos a entidades académicas especializadas, se han promovido proyectos de fabricación de baterías –como el recientemente anunciado proyecto de fabricación de baterías del Conicet, la empresa Y-TEC y la Universidad Nacional de La Plata– y programas de apoyo al fortalecimiento de las capacidades en entidades de sociedad civil.

Las autoridades nacionales han expresado sus intenciones de potenciar el rol de la empresa YPF –Yacimiento Petrolíferos Fiscales, con participación accionaria mayoritaria del estado argentino– en toda la cadena de valor de la industria del litio, mediante el escalamiento de capacidades de una unidad de negocio especializada: YPF Litio. Se espera que, a través de YPF, el estado argentino aumente su participación en los negocios vinculados con la industria y genere nuevas oportunidades en la cadena de valor.

En lo relativo a cooperación internacional, ha sido notable el impulso de la Unión Europea (UE) por establecer un marco de apoyo a la colaboración bilateral. En el marco de un Memorandum of Understanding (MOU) firmado con Argentina el 13 de Junio de 2023 indica 5 áreas de colaboración:



Desarrollo conjunto de proyectos, nuevos modelos de negocio, exportación e inversiones



Cooperación en I+D para el desarrollo de las materias primas con mínimo impacto medioambiental



Alineación de la extracción con los criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) europeos.



Desarrollo de infraestructuras



Aumento de las capacidades laborales de acuerdo con los estándares internacionales.

Dicho acuerdo está centrado en la explotación del litio y no menciona el desarrollo de toda la cadena de valor de baterías. Se espera que las inversiones necesarias para el desarrollo de estas actividades entrarán dentro del *Global Gateway Initiative* destinado a ALC por un total de 10 mil millones de euros. Este esfuerzo coincide con diálogos establecidos con otras contrapartes internacionales: Australia, China, Estados Unidos, Japón, China y Reino Unido entre otros.

## Carrera por una instalación acelerada de gigafábricas

Múltiples gigafábricas están abriendo en todo el mundo. Dichas instalaciones necesitarán un aprovisionamiento seguro en materias primas,

en particular de litio, lo que explica el interés de la UE por las múltiples alianzas en ALC que han iniciado en junio 2023.

### Plantas de producción de las baterías

Fuente: Elaboración propia en base Mauler et al. (2021)

#### Japón / Corea

Empresa	Localización	Volumen*
☆ Samsung SDI	Ulsan, Corea	23
☆ Panasonic	Suminoe, Japón	20
☆ LG Chem	Ochang, Corea	19
☆ SK Innovation	Seosan, Corea	7

#### Estados Unidos

Empresa	Localización	Volumen*
☆ Tesla/Panasonic	Sparks, NV.	76
☆ LG Chem	Holland, MI	16
★ SK Innovation	Commerce, GA	13

#### China

Empresa	Localización	Volumen*
☆ CATL	Ningde	76
☆ LG Chem	Nanjing 1	65
★ Wanxiang (A123)	Hangzhou	46
★ LG Chem	Nanjing 2	34
★ Tesla	Shanghai	26
☆ BYD	Shenzhen	15

#### Europa

Empresa	Localización	Volumen*
☆ LG Chem	Wroclaw, Polonia	62
★ CATL	Erfurt, Alemania	37
★ Northvolt	Skelleftea, Suecia	32
★ Northvolt VW	Salzgitter, Alemania	16
☆ Samsung SDI	GÖd, Hungría	16
★ SK Innovation	Komárom, Hungría	10
★ ACC	Hauts-de-France, Francia	8
★ ACC	Kaiserslautern, Alemania	8

### Referencias

- ☆ Expansión de planta
- ★ Nueva planta
- \* Volumen a alcanzar en 2025 en GWh

## 3.4.2 Bolivia: modelo liderado por el estado con participación creciente del sector privado

Bolivia ha elaborado una política de estado para el desarrollo de la industria del litio. A partir de una mirada crítica sobre experiencias pasadas en la explotación de los recursos naturales por capitales extranjeros, el país estableció una política nacional para la industrialización del litio –y los otros recursos evaporíticos, que son las otras materias primas que acompañan al litio en los salares de Bolivia– enfocada en la agregación de valor a las materias primas en el producto final.

Dicha política tiene como pilar un rol transversal del estado nacional, sobre todo a través de una agencia designada con responsabilidad preponderante, YLB (Yacimientos de Litio Bolivianos). Subyacen a este esquema, normas ordenadoras y un plan estratégico que guía el accionar sectorial, con el estado en un rol activo en todas las fases de la industria, desde la extracción del litio a la generación de valor mediante procesos industriales y comercialización de productos.

Las iniciativas de política vinculadas a este proceso planificado, que se inician en 2008 con foco en actividades de geología e investigación, han sido acompañadas por importantes inversiones públicas en plantas piloto para la producción e industrialización de los recursos evaporíticos y la formación de recursos humanos para el sector. En la actualidad, Bolivia cuenta con cuatro plantas –industriales y piloto– dedicadas a la extracción de litio y potasio en el Salar de Uyuni y para la producción de baterías y materiales catódicos. El país se ha propuesto avanzar en la siguiente fase de su estrategia que se enfoca en la identificación de socios estratégicos para exploración de oportunidades para el desarrollo del litio de nuevos salares con tecnologías innovadoras, como la extracción directa, y el escalamiento de las etapas de agregado de valor y procesamiento de residuos. En 2023, tras un largo proceso de licitación, Bolivia seleccionó un consorcio internacional para el desarrollo la explotación de sus yacimientos de litio mediante tecnologías de extracción directa.

La empresa estatal Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB) firmó al inicio de 2023 un acuerdo con el consorcio chino CATL BRUNP & CMOC. En el marco de dicho acuerdo se abrirán dos áreas, una en el salar de Uyuni en Potosí y otro en el salar de Coipasa en Oruro en donde las empresas pretenden utilizar la técnica de extracción directa de litio. En junio 2023, YLB firmó un acuerdo con la china Citic Guoan y la rusa Uranium One Group (subsidiaria de Rosatom). Juntas explotarán los salares de Pastos Grandes a partir de 2025 produciendo 50,000 toneladas anuales por una inversión de USD 1,400 millones. A través de estas licitaciones públicas internacionales, Bolivia está acelerando las inversiones en el sector. Dichos instrumentos favorecen la participación del sector privado en el desarrollo de los recursos de litio nacionales (Obaya, 2021).

Recientemente, las autoridades de otros países de la región, incluyendo Argentina, Chile y México han comenzado a revisar la experiencia de Bolivia con mayor detenimiento, interesados en identificar oportunidades para aumentar la participación del sector público en la implementación de planes para el desarrollo de la industria del litio y la generación de valor agregado sobre la producción de materias primas. Finalmente, la experiencia de Bolivia, con 15 años de camino recorrido, es una fuente importante de lecciones aprendidas.

### Nuevas fronteras para el litio y su cadena de valor en ALC: avances en México

Con vistas a acelerar el desarrollo de los recursos de litio y de su cadena de valor, a principios de 2023 se creó LitioMx, una empresa nacional que sería la única que podría explotar y comerciar el litio, pero que está negociando actualmente con firmas privadas para explotar conjuntamente en asociaciones público-privadas. La naturaleza de dichas asociaciones es todavía incierta. El litio mexicano es de mayor costo de extracción que el litio de los otros tres países al estar en un terreno arcilloso.

Es por esa razón que por aún no se comercializa para baterías. Vale destacar que 26 concesiones existían previamente a la creación de LitioMx y que las condiciones de dichas concesiones no se verían modificadas por la nacionalización del litio en 2023. México tiene la ventaja de la cercanía con Estados Unidos así como sus lazos comerciales y su industria exportadora de vehículos. Esta ventaja puede ser determinante para el desarrollo de la cadena de valor de litio en el futuro.

### 3.4.3 Chile: estrategia nacional, asociaciones público-privadas para desarrollo integral de la cadena

En Chile, el desarrollo de la industria del litio se rige por un marco normativo institucional bastante peculiar. El sistema jurídico que regula la extracción de litio en salares se caracteriza por la vigencia de dos regímenes que fueron promulgados en períodos distintos de tiempo y que dan un tratamiento diferente a los recursos de litio: en uno de ellos, el litio es un recurso concesible, mientras que en el otro no lo es y se encuentra reservado para el estado. En consecuencia, el estado chileno juega un rol central en el desarrollo de la industria, al igual que en Bolivia, pero lo asume de forma muy distinta.

Actualmente, la mayor parte de la producción litio de Chile resulta de concesiones otorgadas a empresas estatales, que operan mediante contratos especiales de operación (CEOL) con entidades del sector privado. La agencia de desarrollo Corfo posee concesiones que corresponden al 55% del salar de Atacama –que operan las empresas SQM y Albemarle– mientras que la empresa estatal Codelco controla la totalidad del salar de Pedernales y el 18% del salar de Maricunga. Por su parte, la empresa estatal Enami posee el 4% del salar de Aguilar. Recientemente, se han otorgado permisos para aumento de la producción, a través de la revisión de CEOL, y Codelco y Enami han anunciado interés en suscribir nuevos acuerdos para el desarrollo de sus concesiones.

El Gobierno ha lanzado en 2023 su Estrategia Nacional del Litio (ENL), que establece un conjunto de medidas que buscan incorporar capital, tecnología, sostenibilidad y agregación de valor a la minería del litio. Ha aprobado además la reforma del Royalty a la Minería del cobre y litio que, entre otros asuntos, crea tres fondos de beneficio regional, con aportes anuales por 450 millones de dólares. Estos recursos se destinarán al financiamiento de inversión productiva, esto es, proyectos, planes y programas que tengan por objeto el fomento de actividades productivas, de desarrollo regional y la promoción de la investigación científica y tecnológica.

En lo referente a lo normativo-institucional, las autoridades nacionales han expresado su intención de crear una empresa minera estatal para el litio. Esta entidad, de la cual el estado será el accionista mayoritario, se dedicará a la exploración, explotación e industrialización del litio. El esquema de gobernanza definitivo de la entidad no es aún conocido, pero se ha dispuesto que la empresa estatal Codelco. Adicionalmente, se ha indicado interés en establecer un instituto de investigación y desarrollo del litio y las tecnologías limpias con financiamiento de los contratos de operación, en líneas similares a las iniciativas lideradas por Corfo.

Las iniciativas público-privadas para el desarrollo de los recursos de litio en Chile son reflejo de las particularidades de la normativa nacional y de experiencias pasadas en el desarrollo de los recursos naturales. Administraciones anteriores han priorizado otros esquemas para el desarrollo de los recursos, con un rol menos activo del sector público en la industria. Se espera el modelo de desarrollo del litio anclado en una empresa pública sea acompañado de un capítulo especial en la política nacional minera, que permita establecer aspectos estratégicos del proceso en curso en la política de estado.

En definitiva, los países del triángulo del litio son explícitos en su interpretación de que la mayor parte de las ganancias de la industria del litio se encuentra aguas abajo en la cadena de valor, es decir, en las etapas de producción de compuestos electroquímicos, celdas, baterías y sistemas de almacenamiento. Son etapas que requieren mayor inversión, innovación y desarrollo tecnológico, y están dominadas en la actualidad –e históricamente– por países como China, Japón, Corea del Sur y Estados Unidos. Cada uno de ellos esgrime sus mejores instrumentos institucionales para hacerlo realidad.

## Recomendaciones: aprovechar la ventana de oportunidad respetando el medio ambiente y las comunidades locales

La extracción y producción de carbonato de litio apto para baterías requiere importantes inversiones. Actualmente, la producción global de litio resulta de un número reducido de proyectos: cuatro operaciones en Australia, tres operaciones en Argentina, dos en Chile y tres operaciones en China que representan casi toda la producción de litio en el mundo. Se espera que las operaciones de producción de litio se expandan fuertemente en el corto plazo, de la mano de la demanda de las tecnologías necesarias para la transición energética global. Dichas inversiones y la adecuada gestión de los impactos socioambientales de la industria del litio requieren adecuada coordinación de entidades públicas y privadas: instituciones modernas, transparentes, eficientes y confiables, y prácticas corporativas socioambientales intachables.

Para aprovechar las oportunidades de desarrollo económico que pueden resultar de la minería de litio y de la industria derivada, los países latinoamericanos tendrán que seguir consolidando relaciones público-privadas e internacionales que les permitan capturar inversiones para desarrollar la cadena de valor aguas arriba y, al mismo tiempo, posicionarse en nuevos segmentos de la cadena de valor. Para esto, deberán seguir fortaleciendo sus mecanismos de gestión y monitoreo de la industria. En ese marco, son de gran utilidad los planes y programas estratégicos de largo plazo ya que permiten identificar y priorizar acciones creando condiciones favorables para la inversión, la generación de valor agregado y compartido en torno de la producción primaria. Dichos planes ineludiblemente deben considerar la visión y expectativas de las comunidades locales e impactos ambientales de acuerdo a lo dispuesto en la normativa local y acuerdos internacionales ratificados, como el Acuerdo de Escazú. Esto es condición necesaria para dotar a estos instrumentos de debida legitimidad social.

No existe un modelo único para el establecimiento y definición de estas hojas de ruta: son necesariamente modelos adaptados a las realidades y circunstancias de cada país y territorio. Sin embargo, más allá de las necesarias diferencias, es crítico que distintas jurisdicciones sean capaces de conocer las lecciones aprendidas en otras acertando así sus respectivas curvas de aprendizaje.

En la elaboración de una celda de batería de iones de litio, gran parte del costo proviene de los insumos necesarios para fabricar el cátodo que requiere litio y otros metales refinados. ALC no cuenta todavía con proyectos operativos de extracción significativos de todos los otros materiales necesarios para la fabricación de cátodos y baterías. Es por ello que los países de la región necesitarán asegurar el suministro de estos otros insumos críticos y construir importantes capacidades industriales si pretenden la industrialización local del litio en baterías. Sin embargo, en su camino a construir las capacidades y cadenas de suministro para la fabricación de baterías con insumos locales y regionales, los países pueden ir capitalizando las diversas oportunidades para la producción de productos intermedios, como electrodos, electrolitos y separadores. Del mismo modo, es posible seguir mejorando la integración de proveedores locales de servicios de conocimiento especializados y de base tecnológica, para aumentar el valor agregado en torno a la producción de litio.

El transporte internacional de las baterías de los VE presenta importantes dificultades logísticas. Como resultado, las plantas de baterías generalmente se instalan lo más cerca posible de las fábricas de automóviles. Estas a su vez se instalan cerca de los grandes mercados, que actualmente se encuentran principalmente en Asia, Estados Unidos y Europa. Sin embargo, la gran mayoría de los VE se fabricarán en la región en la que finalmente sean utilizados. Sería entonces deseable para los países de ALC que sus celdas –así como el cátodo y el material precursor– también sea producido localmente.

Se espera que el desarrollo de la cadena de valor en ALC sea concomitante con la creciente demanda regional de VE y de soluciones de electrificación. Es por ello que se espera igualmente que el desarrollo de la industria de refinado del litio y producción de cátodos se apalanque en la experiencia y dinámica de la industria automotriz local. Para eso serán necesarias políticas específicas para la sincronización de esfuerzos industriales. Estas políticas facilitarían, además, la generación de empleos y el fomento de innovación tecnológica.

Es probable que la electrificación en ALC sea impulsada primeramente por el transporte público de pasajeros, en el marco de las iniciativas de transición energética de los gobiernos, luego el transporte privado y finalmente el transporte de carga. Países como Colombia, Chile, Panamá y Perú ya discuten planes de electromovilidad donde se habilitarán nuevas fuentes de carga estratégicas. Es reflejo de la creciente competitividad alcanzada por los autobuses eléctricos en la región en comparación a sus equivalentes diésel. Dadas las limitaciones de la infraestructura de carga instalada, una red de carga centralizada parece ser el mejor primer paso para un desarrollo generalizado de soluciones de electromovilidad.

Al mismo tiempo, existe una incipiente industria de reciclaje de baterías que, acompañada con políticas gubernamentales, puede ser una fuente de ingresos creciente para la región. El potencial de reciclaje de baterías es todavía limitado dada la poca penetración de VE en los mercados de ALC. Sin embargo, la región puede seguir trabajando en una mejora sustancial en la gestión de sus residuos. El reciclaje de residuos electrónicos para la recuperación de metales y otros materiales es una oportunidad para la obtención de insumos críticos para procesos industriales limitando el impacto socioambiental de la industria. La implementación de modelos de negocio circulares es fundamental para aumentar la sostenibilidad y resiliencia de las economías de la región.

Hay países en donde a las centrales de reciclaje se les exige una cantidad mínima de toneladas recicladas por año. Si estas políticas se establecen en países como ALC, las PyMes –que comprende el mayor porcentaje de tipo de empresas en esta región– podrían ser marginadas debido al requisito de un alto gasto de capital para la creación de instalaciones tan grandes.

Los fabricantes de automóviles deberían diseñar sus VE con aplicaciones de segunda vida en mente, impulsando así la estandarización, las normas de seguridad y la amortización de los costos de reciclaje. Esto aplica también a los productores de insumos para esos procesos industriales. Para esto se pueden seguir iniciativas de política como las regulaciones de Responsabilidad Extendida del Productor, mediante las cuales los fabricantes de baterías - incluidos los proveedores de VE y otros productos– son responsables de reciclar las baterías que han vendido.

En definitiva, el aprovechamiento de las oportunidades que presenta la transición energética global exige una mirada integral de los procesos productivos, las industrias y sus cadenas de valor y las dinámicas de consumo. El fortalecimiento inteligente de cada etapa de las cadenas de valor permitirá mejorar la sostenibilidad de nuestras economías, pero deben ser debidamente identificadas, priorizadas y luego atendidas por el sector público y el sector privado, según corresponda. Esto no es posible sin adecuada coordinación y colaboración de las partes involucradas –esquemas de gobernanza eficaces– y es urgente porque las ventanas de oportunidad son inevitablemente breves. Esto es particularmente relevante al desarrollo regional de los recursos de litio, que juega hoy un factor primordial en las cadenas globales de suministro, pero que aún no ha sido aprovechada integralmente.

## Recomendaciones



Fortalecer la coordinación público-privada y la gobernanza eficaz para garantizar una gestión responsable de los impactos ambientales y sociales.



Desarrollar planes y programas estratégicos de largo plazo para la industrialización del litio y desarrollo de la cadena de valor aguas abajo.



Asegurar el suministro de insumos críticos y fortalecer capacidades para la participación local en procesos de industrialización desde actividades aguas arriba.



Apalancar procesos de industrialización en la expansión regional de la electrificación vehicular, con foco en la coordinación y sincronización de sectores industriales.



Promover la circularidad para reducir el impacto ambiental de la industria extractiva, y el fortalecimiento de marcos normativos de responsabilidad extendida de los productores.



## Referencias

- Amui, R.** (2020). Commodities at a glance, special issue on strategic battery raw materials, Ch. 5.[EB/OL]. In United Nations Conference on Trade and Development (UNCRAD) (pp. 09-22).
- Azevedo, M., Baczyńska, M., Hoffman, K., & Krauze, A. (2022). Lithium mining: How new production technologies could fuel the global EV revolution. McKinsey & Company.
- ADEFA**, Asociación de Fabricantes de Automotores, Estadísticas 2022, consultado en julio 2023.
- AMIA**, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, Estadísticas 2022, consultado en julio 2023.
- ANAFAVEA**, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores Estadísticas 2022, consultado en julio 2023.
- Beltrán Real, Ó. M., Lefevre, B., & Mojica, C. (2021). Lecciones aprendidas en la implementación de modelos de negocio para la masificación de buses eléctricos en Latinoamérica y el Caribe.
- Bhutada, G. (2023). Visualizing China's Dominance in Battery Manufacturing (2022-2027)
- Bloomberg Finance L.P, 2022, Lithium-ion Battery Pack Price.
- CCFA**, Chambre Syndicale des Constructeurs d'Automobiles, Estadísticas 2022, consultado en julio 2023.
- Chung, D., James, T., Elgqvist, E., Goodrich, A., & Santhanagopalan, S. (2015). Automotive Lithium-ion Battery (LIB) Supply Chain and US Competitiveness Considerations; Clean Energy Manufacturing Analysis Center (CMAC), NREL (National Renewable Energy Laboratory) (No. NREL/PR-7A40-63354). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- Cochilco**, 2021, El mercado del litio - Desarrollo reciente y proyecciones al 2030.
- Dai, Q., Spangenberg, J., Ahmed, S., Gaines, L., Kelly, J. C., & Wang, M. (2019). EverBatt: A closed-loop battery recycling cost and environmental impacts model (No. ANL-19/16). Argonne National Lab. (ANL), Argonne, IL (United States).
- Dunn, J., Kendall, A., & Slattery, M. (2022). Electric vehicle lithium-ion battery recycled content standards for the US-targets, costs, and environmental impacts. Resources, Conservation and Recycling, 185, 106488.
- Huisman, J., Ciuta, T., Mathieux, F., Bobba, S., Georgitzikis, K. and Pennington, D., RMIS "Raw materials in the battery value chain, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020.
- IEA**, 2022, Battery demand by region, 2016-2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/battery-demand-by-region-2016-2022>
- IEA**, 2022, Growth in demand for selected battery-related minerals from clean energy technologies in 2040 relative to 2020 levels by scenario, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/growth-in-demand-for-selected-battery-related-minerals-from-clean-energy-technologies-in-2040-relative-to-2020-levels-by-scenario>
- IEA**, 2023, Global EV Data Explorer, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>
- iLi Markets, 2023, Lithium quarterly Market Review. Santiago de Chile.
- The International Council of Clean Transportation**, consultado en julio 2023.
- Lebedeva, N., Di Persio, F. and Brett, L., Lithium ion battery value chain and related opportunities for Europe, EUR 28534 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2016.
- Mauler, L., Duffner, F., Zeier, W. G., & Leker, J. (2021). Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050. Energy & Environmental Science, 14(9), 4712-4739.
- Obaya, M. (2021)**. The evolution of resource nationalism: The case of Bolivian lithium. The Extractive Industries and Society, 8(3), 100932.
- OICA**, International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, Estadísticas 2021, consultado en julio 2023.
- Pilbara Minerals. (2017). Pilgangoora - The world's Leading Lithium Development Project. Obtenido de [http://www.pilbaraminerals.com.au/site/PDF/1983\\_0/CorporatePresentationSeptember2017](http://www.pilbaraminerals.com.au/site/PDF/1983_0/CorporatePresentationSeptember2017)
- Statista**, 2023, consultado en julio 2023.
- Steen, M., Lebedeva, N., Di Persio, F. and Brett, L., EU Competitiveness in Advanced Li-ion Batteries for E-Mobility and Stationary Storage Applications - Opportunities and Actions, EUR 28837 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.
- U.S. Geological Survey, 2022, Mineral commodity summaries 2022: U.S. Geological Survey, 202 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2022>.