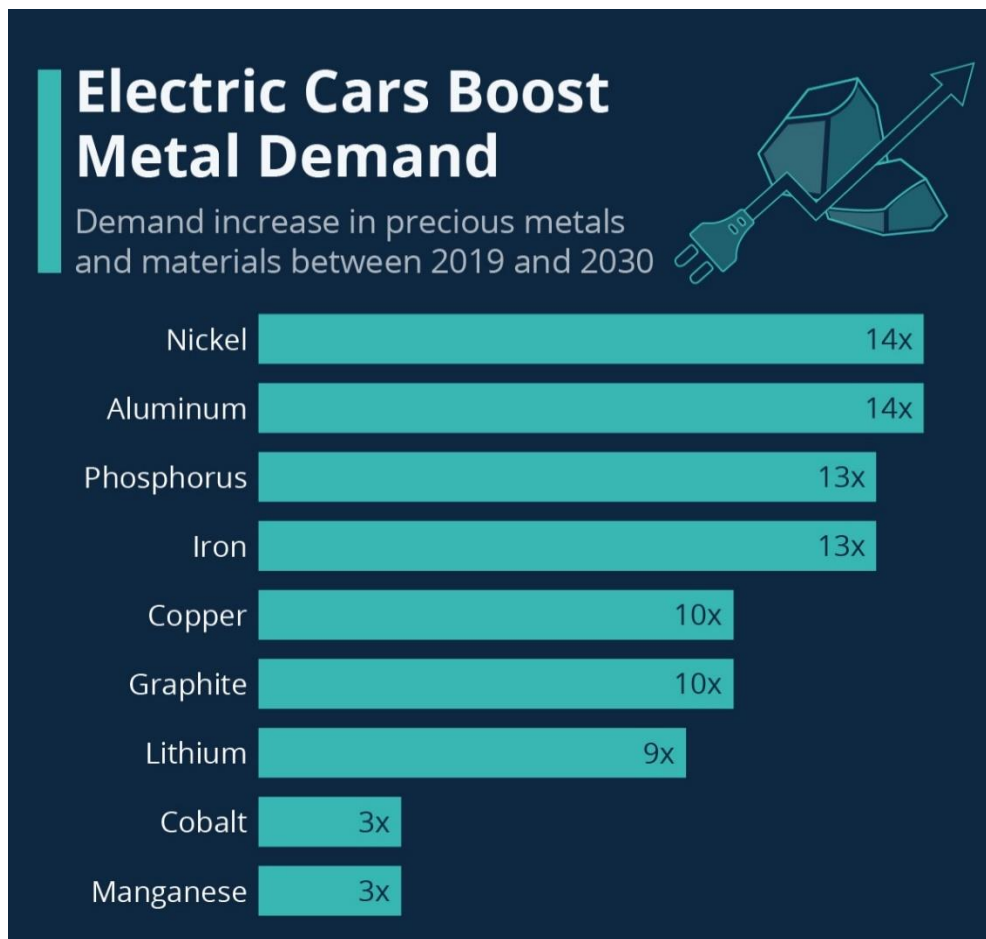
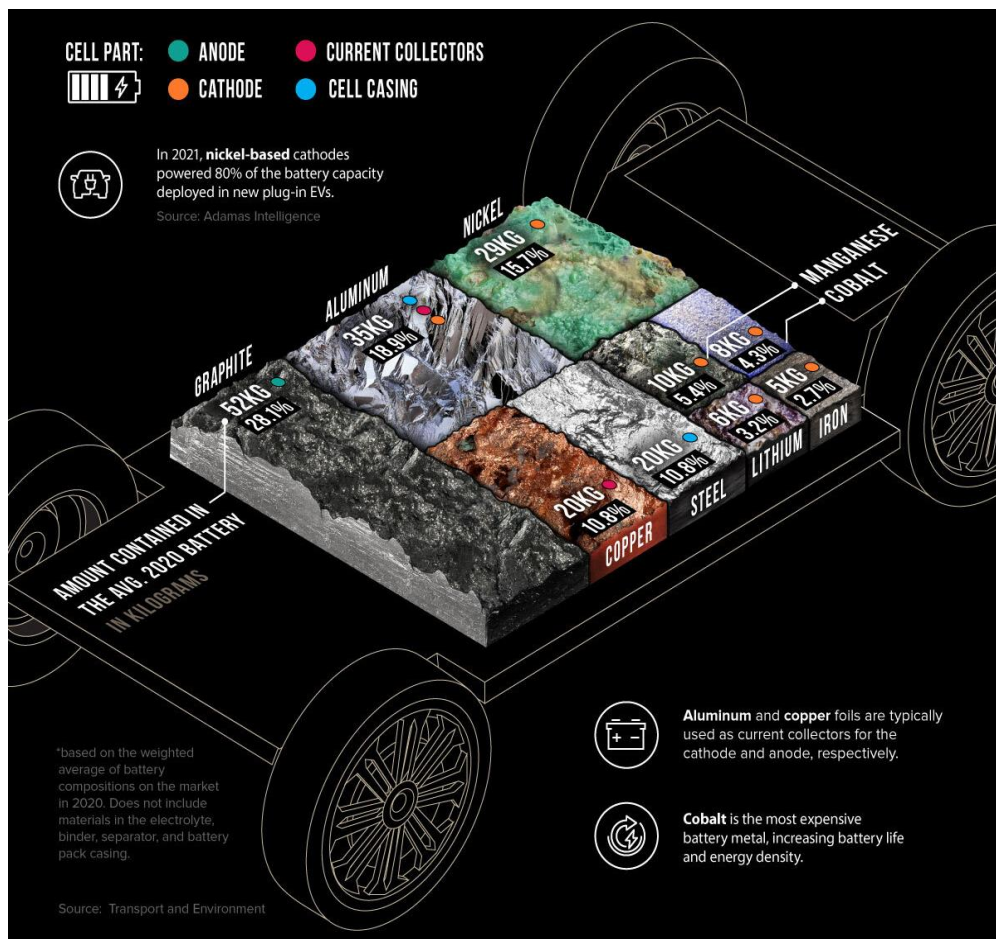


# Los avances y desafíos de la extracción directa de litio

An aerial photograph of a lithium extraction facility. The foreground shows two large, irregularly shaped piles of white material, likely lithium carbonate, with some orange vehicles parked nearby. Behind these piles are several rectangular ponds containing liquids of different colors: bright yellow, light green, and white. The ponds are separated by concrete or earthen walls. In the background, there are more ponds and a range of mountains under a clear blue sky.

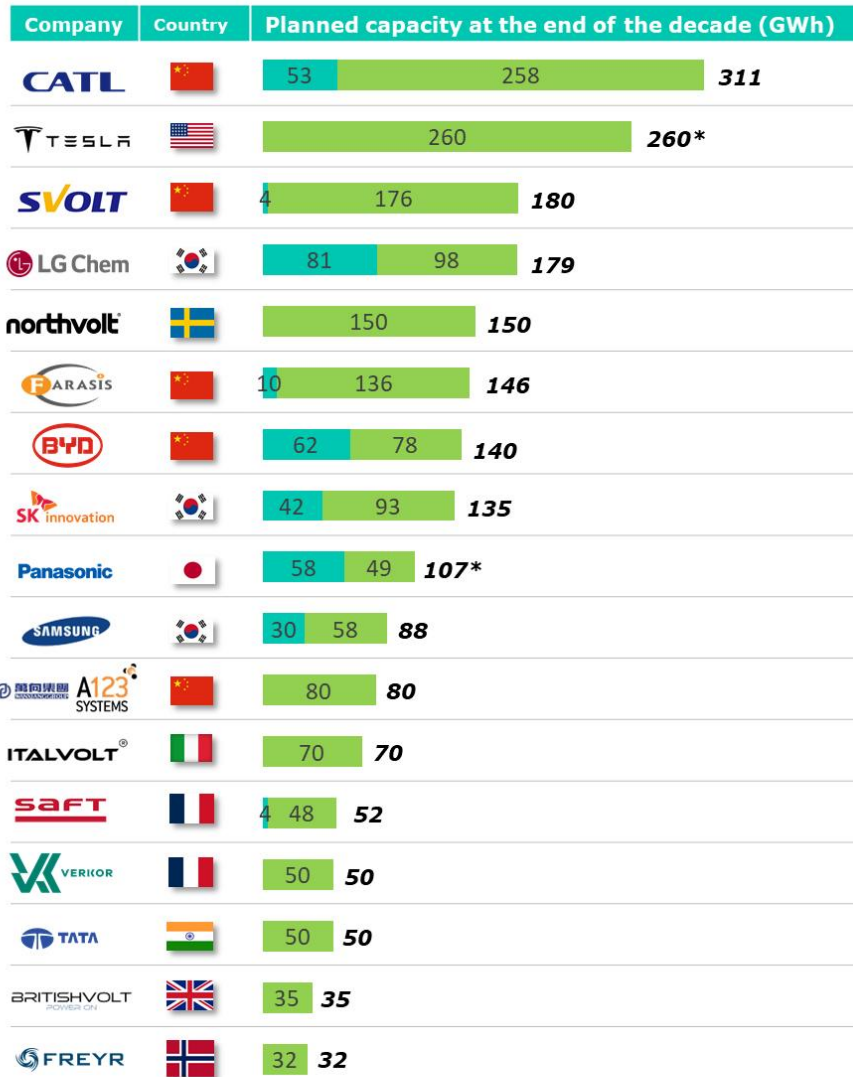
Emilio E. Bunel  
29 de mayo, 2024

# Minerales en una batería



- Una celda de un auto eléctrico con una batería de 60 kWh contiene aproximadamente 185 kg de minerales.
- La transición en curso lejos de los combustibles fósiles probablemente provocará la escasez de algunos metales clave utilizados en las baterías de vehículos eléctricos.

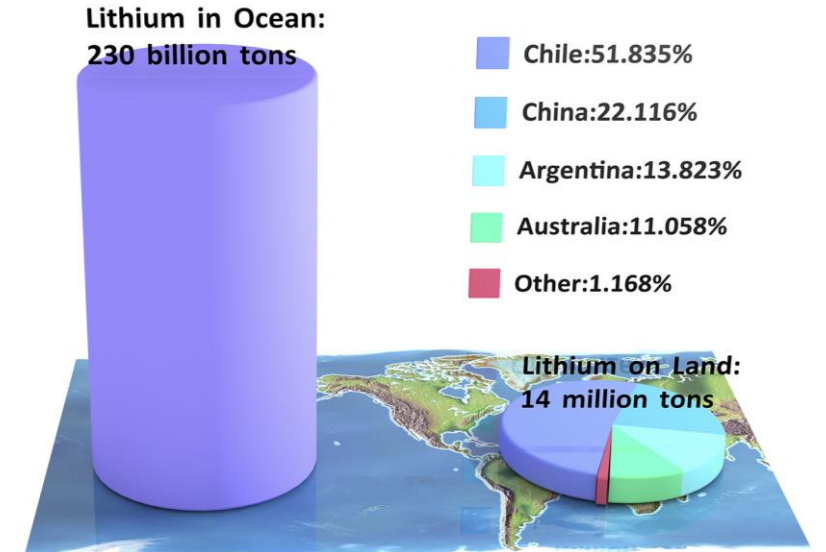
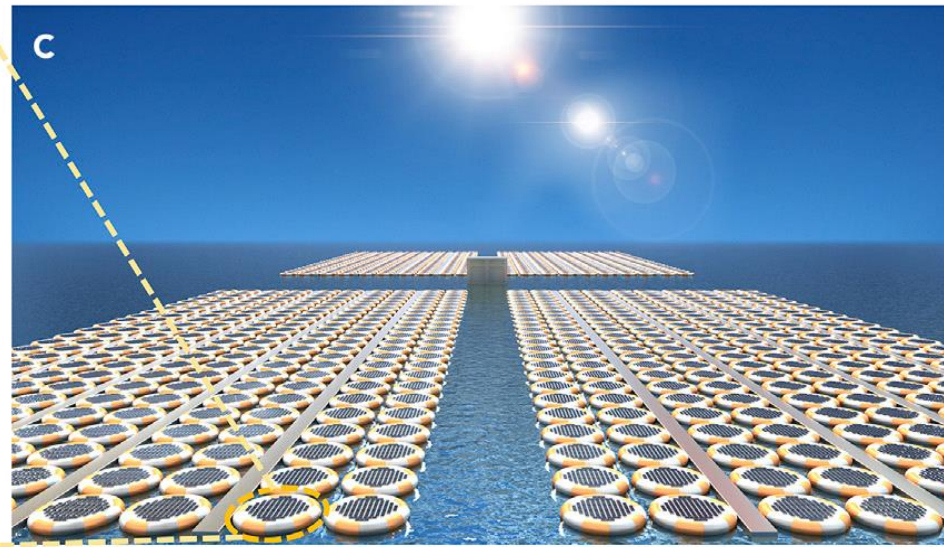
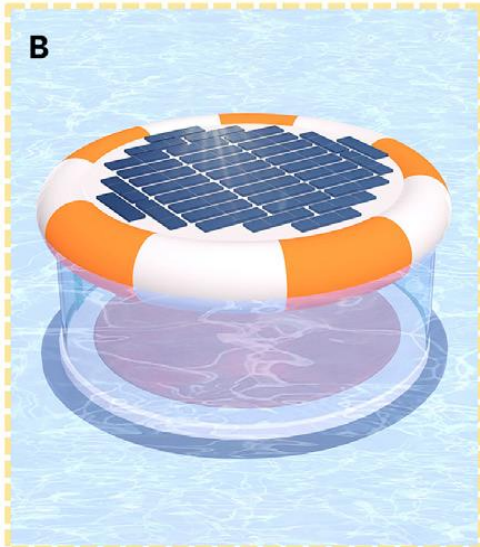
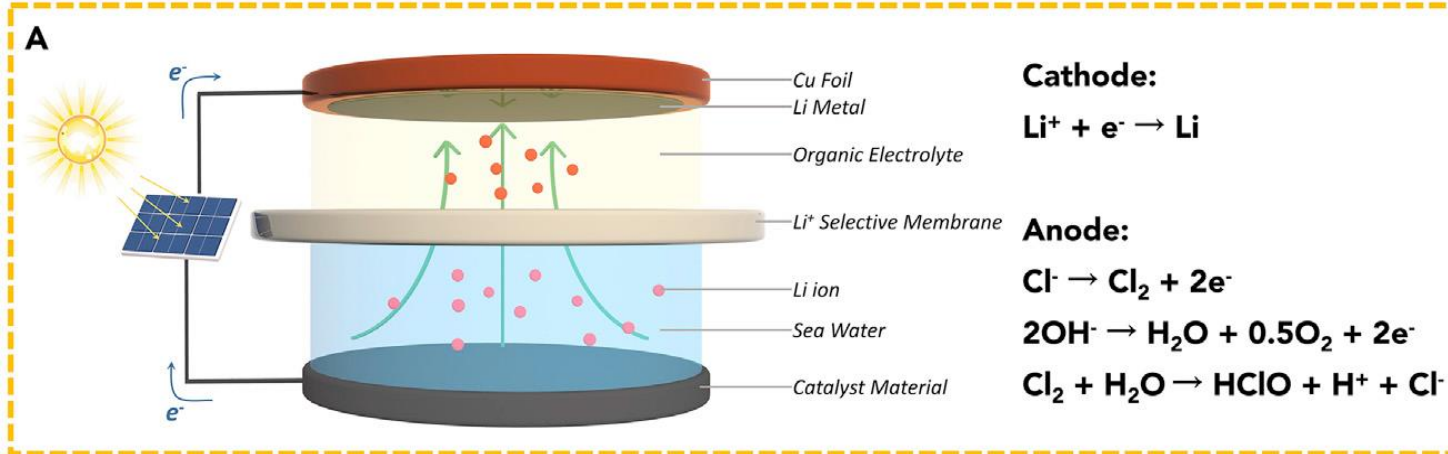
# Producción de baterías a nivel mundial



\*Legend: Tesla's Gigafactory 1 capacity in Nevada is considered within Panasonic  
 Source: Own production from public information based on capacity announcements made to date

- Un vehículo eléctrico promedio tiene una capacidad de batería de alrededor de 40 kWh.
- Se necesitan alrededor de 0.726 kg de carbonato de litio por kWh.
- Una batería de 40 kWh contiene aproximadamente 30 kg de carbonato de litio
- Si tengo una *gigafactory* de 311 GWh podría producir 7.8M autos al año
- La *gigafactory* necesitaría aproximadamente 234000 Ton de carbonato de litio al año.
- Necesitaría la producción total de carbonato de litio que Chile produce al año.
- Si todas la *gigafactories* fueran construidas como muestra el grafico se necesitarían 1.6M Ton de carbonato de litio.

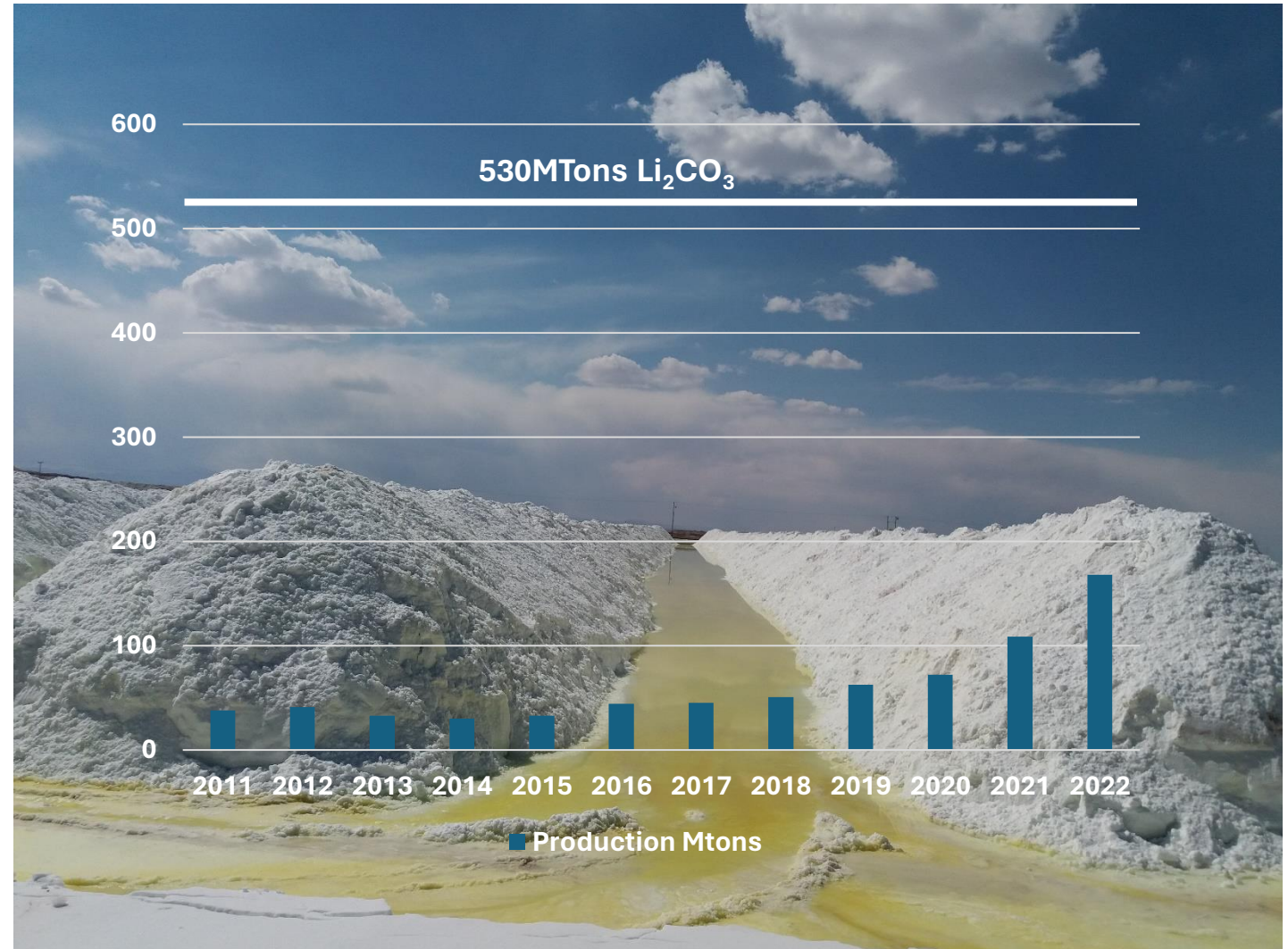
# LiCl a partir de agua de mar



Schematic Diagram of the Solar-Powered Lithium Extraction Device  
(A) Mechanism of the lithium extraction device.  
(B) Single unit.  
(C) Scale-up device array on the sea.

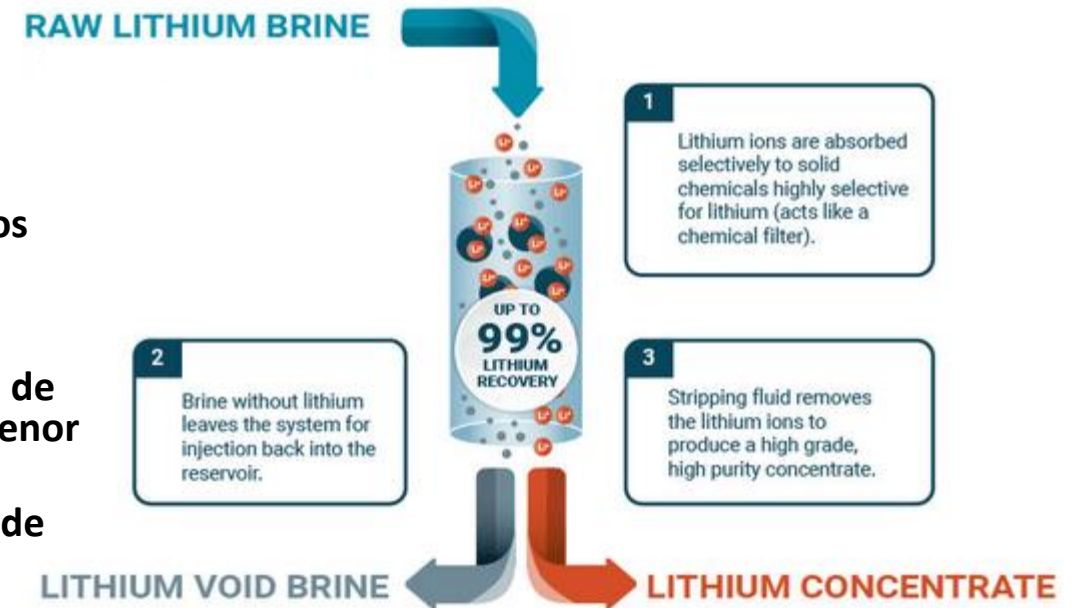
# Producción de SQM

- SQM puede extraer hasta 53MMm<sup>3</sup> salmuera/año
- 100000 ton LME = 530000 ton LCE
- Solo se convierte el 35% de todo el litio extraído en Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



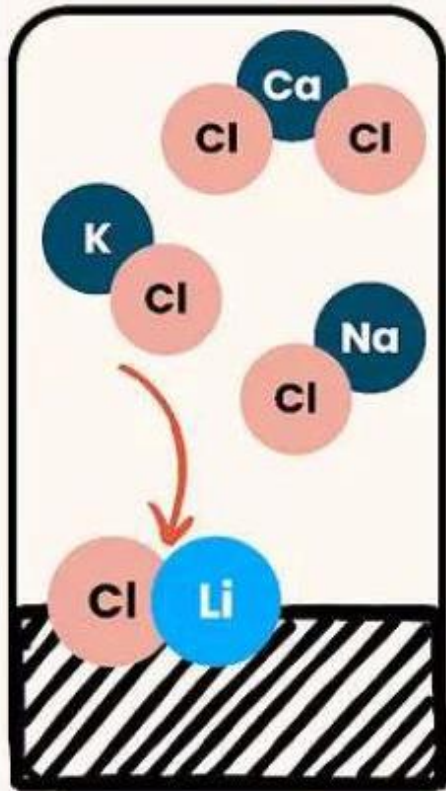
# Extracción Directa de Litio (DLE)

- Las principales ventajas son:
  - Producción de litio más rápida.
  - Huella ambiental mucho menor.
  - La salmuera se devuelve al acuífero después de extraer el litio.
  - Potencial para hacer que los proyectos de litio de baja ley sean económicamente viables.
  - La recuperación de litio suele ser del 70-90% en comparación con los procesos de evaporación convencionales.
- Las principales desventajas incluyen:
  - Potencialmente, puede producir un producto final de litio de grado de batería de mayor pureza que se vende a un precio superior al de menor grado.
  - Todavía no se ha probado a gran escala y durante un largo período de tiempo.
  - Complejidad técnica: varias opciones en el tipo de DLE.
  - El CapEx inicial puede ser mayor.
  - Cualquier reinyección de salmuera gastada es para no introducir materiales extraños en el acuífero.

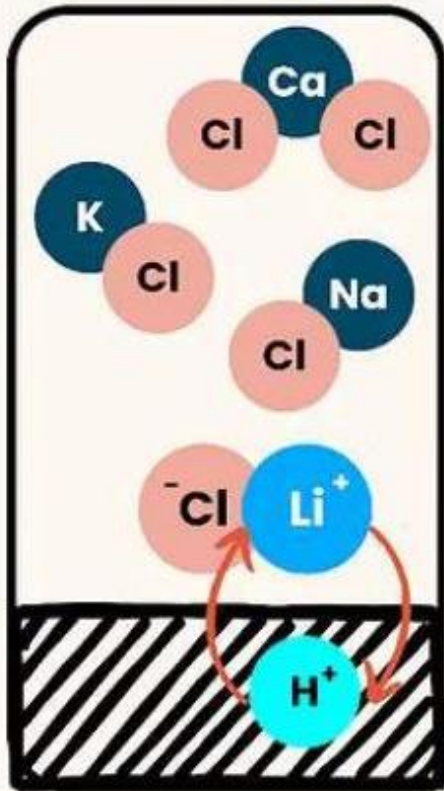


# Tecnologías DLE líderes

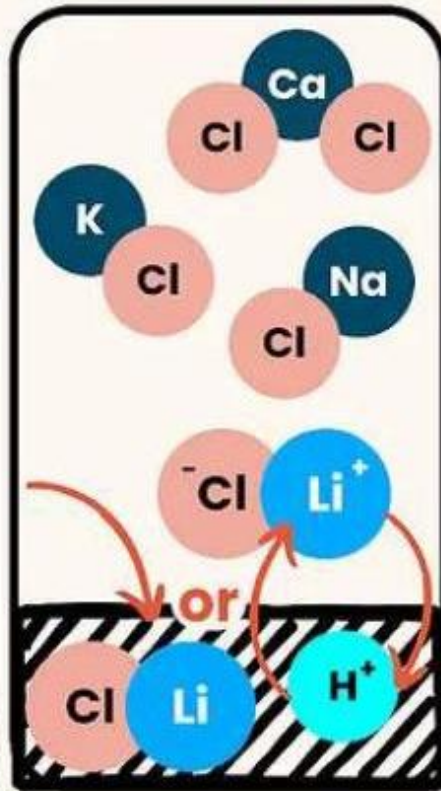
Adsorción



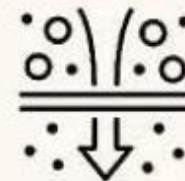
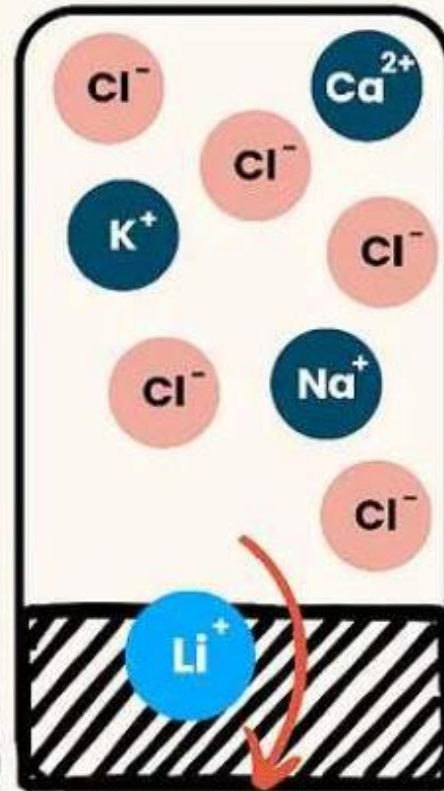
Intercambio Iónico



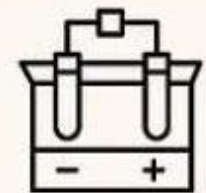
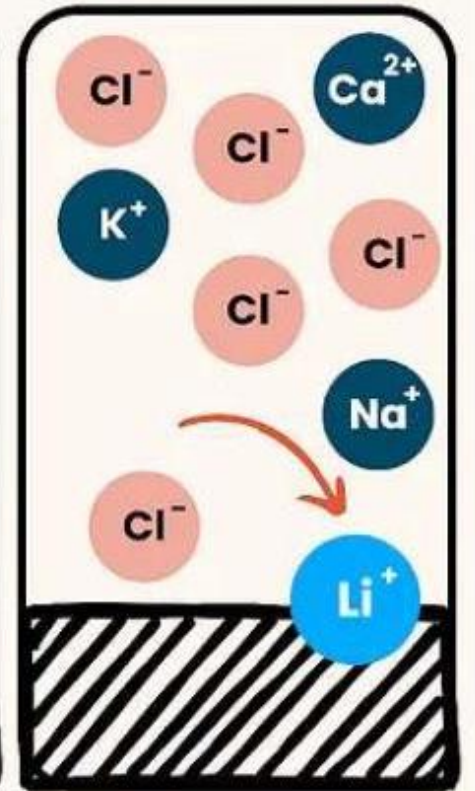
Extracción por solventes



Membranas



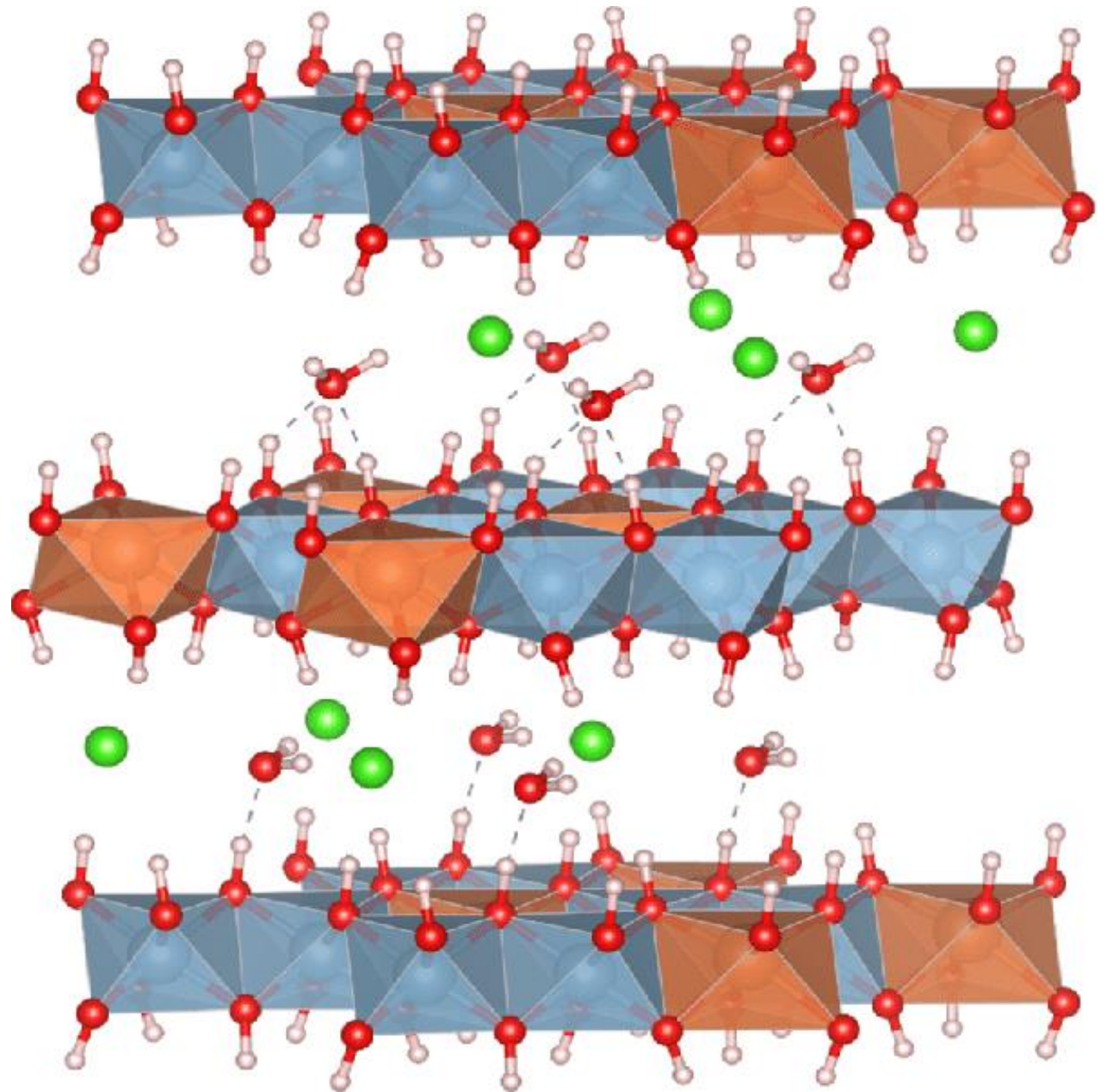
Procesos Electroquímicos



# Bauman y Burba



- En 1992 Bauman y Burba creó y patentaron la tecnología de "Absorción Selectiva", que fue implementada entre 1994 y 1998 por FMC.
- Fue una extensión de las patentes de DOW Chemicals que usaban resinas de intercambio iónico.
- Burba es ahora el CEO de *International Battery Metals, Ltd. (IBAT)*.



Al: azul en poliedros; Li: naranja en poliedros; Cl: verde; O: rojo; H: rosa claro. Los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua y los grupos hidroxilo se muestran mediante líneas discontinuas.



# Proceso Salar Hombre Muerto



Livent



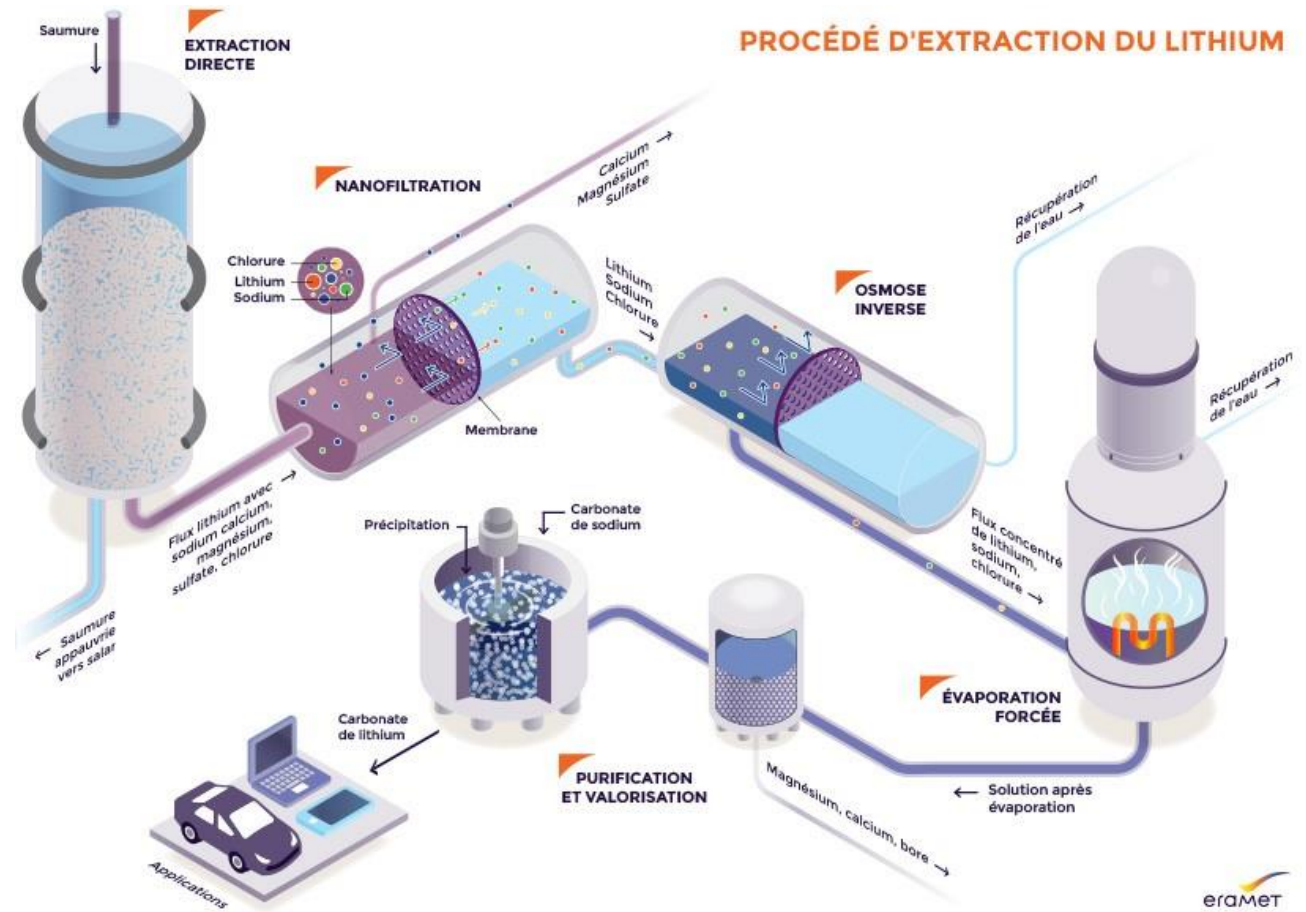
- **Proceso de producción utilizando adsorbente de litio que separa el cloruro de litio de los principales constituyentes de la salmuera: sodio, potasio y calcio.**
- **Requiere calentar la salmuera para preparar la salmuera para la extracción de litio con el adsorbente.**
- **Hay evaporación solar para concentrar el cloruro de litio.**
- **Se purifica el litio para eliminar boratos y sulfatos antes de la reacción con carbonato de sodio para precipitar carbonato de litio.**
- **Hidróxido de litio producido en EE.UU. y China mediante la reacción de carbonato de litio con cal.**



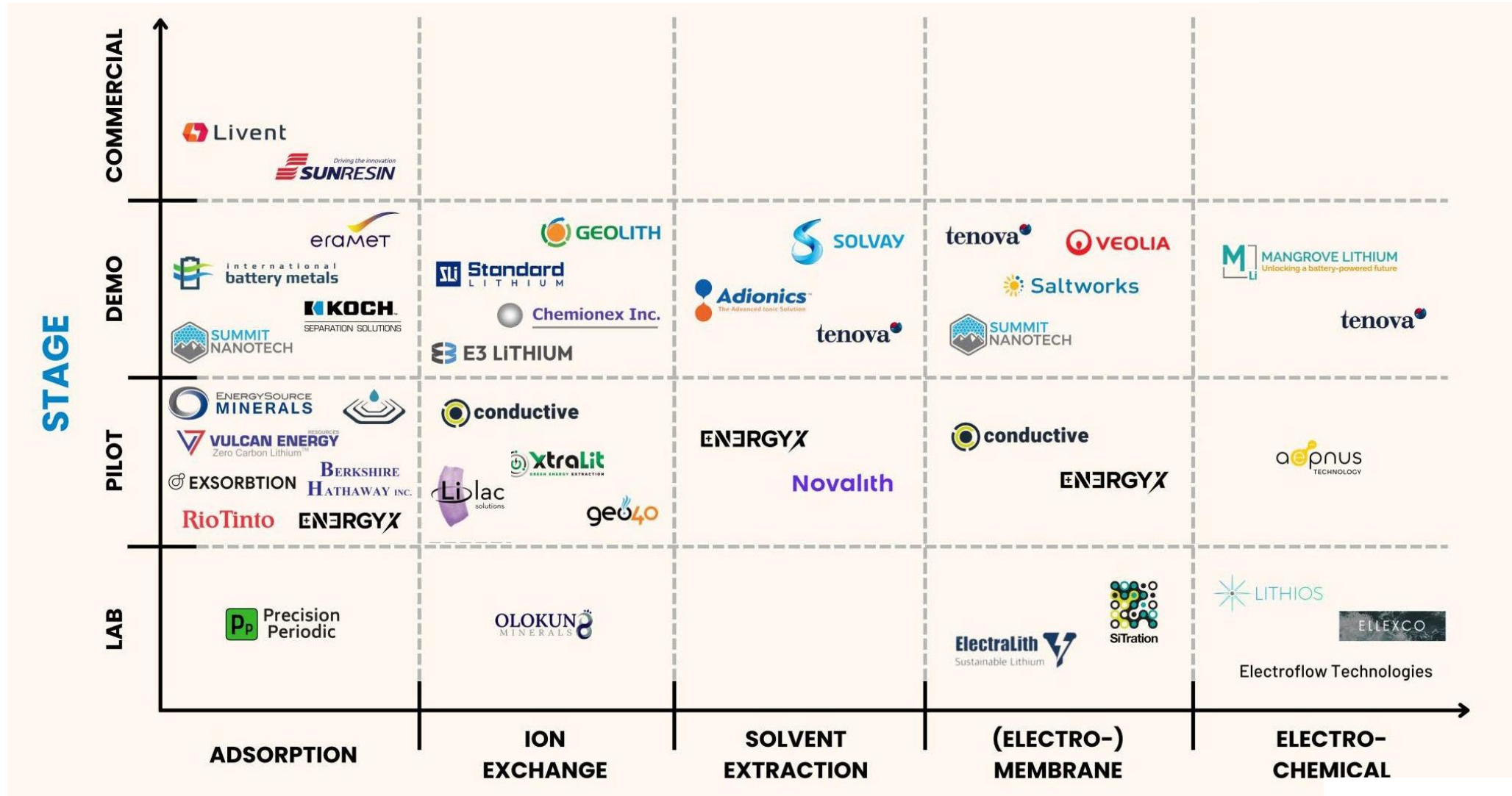
FMC comenzó a desarrollar nuevos recursos de litio en Salar Hombre Muerto en Argentina en 1994.

# Centenario-Ratones in Argentina

- Eramet seleccionó a SUEZ - Water Technologies & Solutions para suministrar tecnologías críticas para concentrar y purificar salmuera de litio para el proyecto minero de litio Centenario-Ratones en Salta, Argentina.
- El proyecto utilizará un novedoso proceso DLE, desarrollado por Eramet, que aumenta el rendimiento de litio a más del 90% y acelera el proceso de producción a solo horas.
- Se espera que el proyecto produzca 24.000 toneladas de carbonato de litio equivalente por año una vez que se ponga en marcha en 2024 con un total de 10 millones de toneladas de reservas de LCE.



# DLE en diferentes niveles de desarrollo tecnológico



# DLE technologies

# Sunresin

Proyectos operativos		
Zangge Lithium	10000 tpy carbonato de litio	En funcionamiento desde 2018
Qinghai Jintai Lithium	3000 tpy EPC de planta	En funcionamiento desde 2018
Minmetals	2000 tpy carbonato de litio	En funcionamiento desde 2019
Minmetals (phase 2)	4000 tpy lithium carbonato de litio	En funcionamiento desde abril de 2022
Qinghai Jintai Lithium(phase 2)	4000 tpy EPC de planta	En funcionamiento desde octubre de 2022

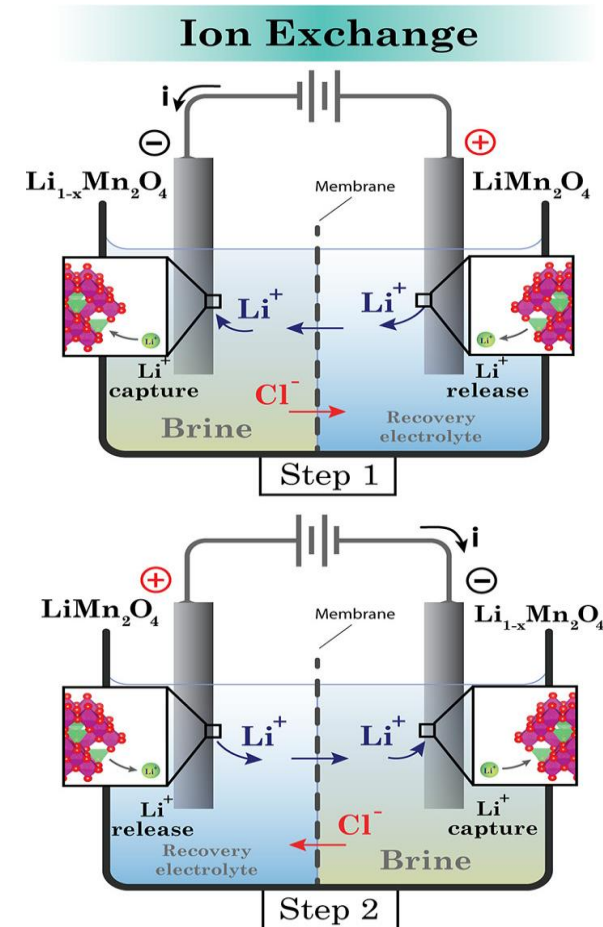
- Sunresin firmó el 15 de junio de 2023 un contrato DLE de 25 M US\$ para desplegar su tecnología en el proyecto HanaColla ubicado en el lago Tolar Grande Arizaro, provincia de Salta, Argentina
- El proyecto es la primera planta de extracción de carbonato de litio de grado de batería DLE con una escala industrial de 3000 ton/año.
- Este proyecto se convertirá en el proyecto demostrativo del "Triángulo del Litio" sudamericano. Ayudará a la compañía a expandir sus mercados internacionales para la extracción de litio de Salt Lake Salmuera, consolidar su posición de mercado en este campo y promover el desarrollo del segmento de negocios de recursos metálicos.



# Procesos electroquímicos

(CATL, Brunp en Bolivia)

- Método electroquímico para la extracción directa de litio de salmueras naturales, fluidos geotérmicos, agua de mar y líquidos de reciclaje de baterías mediante celdas de entropía de bombeo de iones.
- La extracción de litio aprovecha la intercalación selectiva en los materiales del cátodo de la batería de litio, como  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ , or  $\text{LiFePO}_4$  y la diferencia de concentración entre el electrolito de la fuente de litio y la solución de recuperación.
- Estos métodos electroquímicos son ambientalmente benignos, altamente específicos y eficientes y consumen una baja cantidad de energía. Combinan la alta especificidad de inserción de litio (en comparación con los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{+2}$ ) con el uso de electrones como reactivo, por lo que no producen material de desecho ni consumen agua.



# Lanshen

- En 2010, Lanshen comenzó a desarrollar un material de adsorción selectiva de litio para separar el litio de las salmueras en China. Desde 2015, Lanshen comenzó a diseñar plantas de producción modulares para extraer litio. En 2020, Lanshen puso en marcha la primera planta de producción de resina DLE en Weinan, provincia de Shaanxi en China, con una capacidad de 5.000 M<sup>3</sup>. En el primer trimestre de 2022 se amplió a 8.000M<sup>3</sup>.
- El programa de trabajo de pruebas de laboratorio con el adsorbente patentado de Lanshen y la tecnología SMB logró recuperaciones del 92% de litio de la salmuera de Solaroz.
- Pequeña planta piloto completa en Santiago (60 l/h de salmuera y 84 gr Li/h a 300 ppm de alimentación de Li) lista para operar.
- Durante 2024 se construirá una planta piloto en Jujuy, que proporcionará los datos para los criterios de diseño de ingeniería de detalle para que Lanshen finalice los parámetros de diseño, costo y rendimiento de la planta de demostración LCE de 3.000tpa propuesta para procesar en Solaroz Salar.



*Carrusel de operación continua a escala de laboratorio Lanshen con adsorbente de litio*

# Geolith

- El proceso Li-Capt permite la extracción directa de litio. Se puede aplicar a todas las aguas y salmueras, como salmueras geotérmicas, aguas de producción de petróleo y salmueras de salares.
- Se puede integrar en las instalaciones de producción existentes a partir de los procesos de evaporación de las salinas para aumentar el rendimiento de la extracción.
- Proceso de extracción directa e instantánea, limpio, baja generación de residuos, tratamiento de salmuera de baja concentración, compatibilidad con aguas subterráneas hasta 80°C, facilidad de implementación, instalaciones de tratamiento de agua convencionales y modulares.
- El proceso Li-Capt tiene como objetivo extraer litio directamente incluso en el caso de bajas concentraciones (50 a 500 mg/l) garantizando al mismo tiempo una operación rentable.





# Geolith

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property  
Organization

International Bureau

(43) International Publication Date  
28 April 2022 (28.04.2022)



(10) International Publication Number  
**WO 2022/084145 A1**

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE  
BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international

(43) Date de la publication internationale  
23 avril 2020 (23.04.2020)

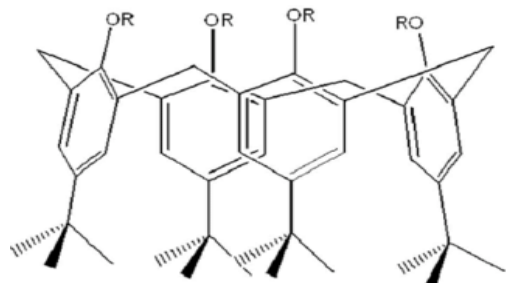


(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2020/078928 A1**

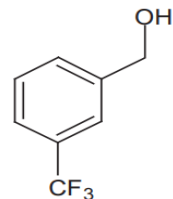
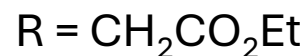
- **Three pilot plant in operation:**
  - **Alsace, France:** small batch unit operating since 2028, 1-2 m<sup>3</sup> of brine required. Its movable and installed in a truck.
  - **Antofagasta, Chile:** medium size able to produce 2 Ton Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/year . Financed between Chilean and French governments and operating at a university campus. Totally committed throughout 2023.
  - **England:** large scale with capacity to produce 10 Ton/year collaboration with Cornish Lithium.
- **Maximum operation conditions : 40 bar, 70°C . Increasing pressure increases Capex due to the materials of construction.**

# Calixarenos

(Adionics)



1



2

Anión	D	Catión	D
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.21	Li <sup>+</sup>	0.00
Cl <sup>-</sup>	0.49	K <sup>+</sup>	0.07
Br <sup>-</sup>	1.31	Na <sup>+</sup>	0.49
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1.95		
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	1.98		
I <sup>-</sup>	2.70		

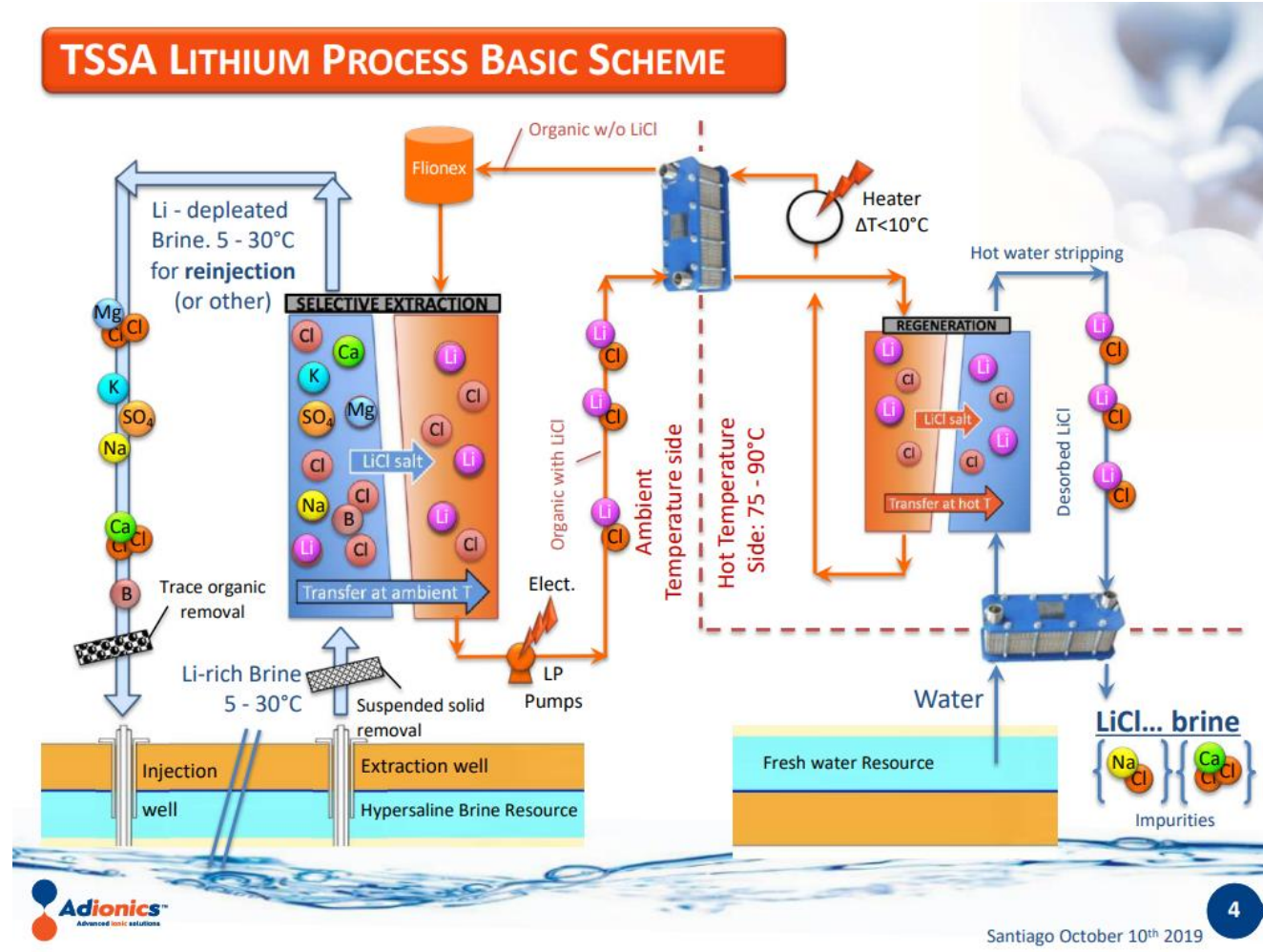
-D = C<sub>org</sub> / C<sub>aq</sub> para sales de Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>.

-Se probaron varios aniones manteniendo Na<sup>+</sup> como contraión.

-Se probaron varios cationes manteniendo Cl<sup>-</sup> como contraión.

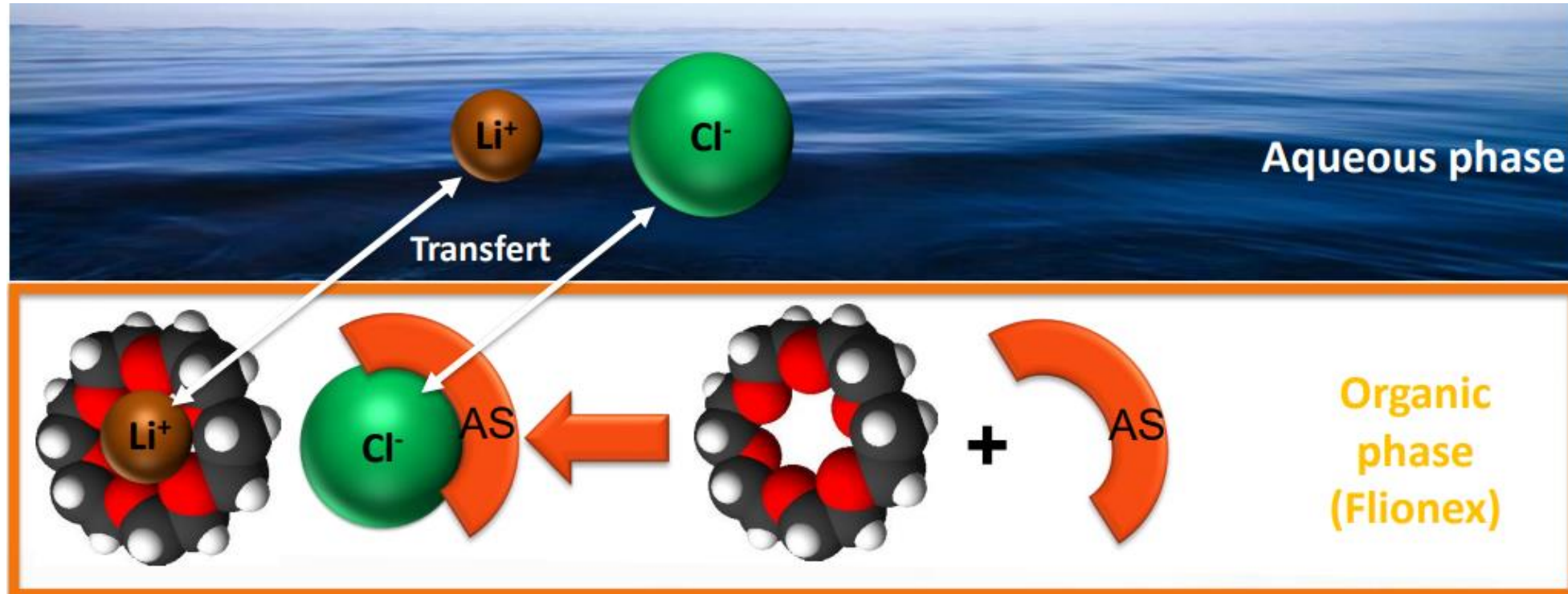
- La extracción eficiente (D) y la separación de algunos iones comunes se logra mediante la coordinación simultánea de cationes y aniones en fase orgánica.
- La extracción de NaCl tiene un mecanismo molecular sin formación de especies agregadas: el catión está coordinado por el calixareno, mientras que el anión está unido por medio de enlaces de hidrógeno y  $\pi$ -interacción con el alcohol bencílico modificado.

# Absorción de sal por oscilación térmica



Flionex permite la extracción selectiva de sal

# Flionex: principios de extracción de sal



- Coordinación de Li<sup>+</sup> utilizando una macromolécula orgánica hidrófoba neutra
- Solvatación de Cl<sup>-</sup> por una matriz orgánica específica (AS: solvatante aniónico)
- Sal transferida de la fase acuosa a la fase orgánica

**Preguntas?**

