



Industria del Litio y del Hidrógeno Verde en Chile: Análisis y Oportunidades

Matias Negrete Pincetic, Lucas Maulén Vargas, Cristián Villalobos, Samuel Bascuñan

Departamento de Ingeniería Eléctrica UC Vinken Dictuc

Presentación preparada por Vinken-Dictuc para ITA Italian Trade Agency - Embajada de Italia en Santiago 26 de Julio de 2023

La Empresa

Vinken es una unidad de negocios de Dictuc S.A. asociada a la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile que desarrolla consultoría especializada, investigación avanzada y desarrollos tecnológicos para la industria energética.



Productos y Servicios



- Consultoría Especializada y Personalizada.
- Inteligencia de Mercado: Datos, Visualización.
- Evolución y prospección de Mercados Eléctricos.
- Análisis de competencia y monitoreo de mercado.
- Análisis regulatorios y financieros.
- Capacitación.



Nuestra Experiencia





































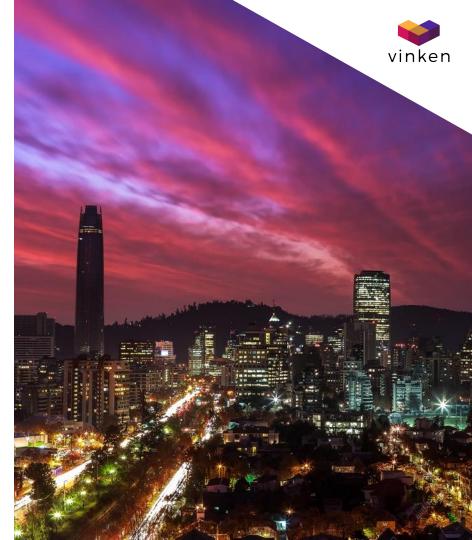






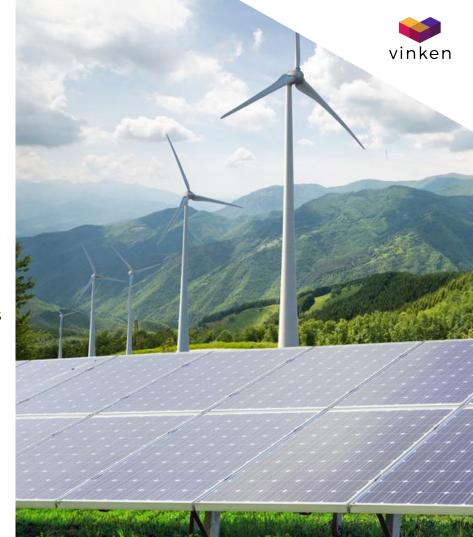
Transición energética

- Actualmente nos enfrentamos a una crisis climática sin precedentes.
- Existen compromisos internacionales, que de ser implementados, buscan reducir un 70% de las emisiones actuales.
- No obstante, existe una gran brecha que cubrir para lograr una carbono neutralidad en 2050: 22 billones de toneladas de emisiones residuales
 en 2050.
- El sector energía es responsable de cerca de tres cuartos de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global.



Principales desafíos

- Electrificación y eficiencia energética como principales habilitadores de la transición energética: electromovilidad, climatización, entre otros.
- Lo anterior, acompañado de una fuerte penetración de energías renovables permitirá reducir las emisiones de gases de efecto invernadero: al año 2030, se requiere triplicar la capacidad actual de energías renovables.
- No obstante, lo anterior debe ser complementado con otras soluciones para descarbonizar sectores inviables de electrificar: hidrógeno como una de las principales alternativas bajas en emisiones.



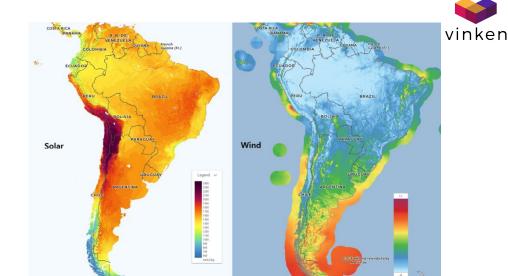
Principales desafíos

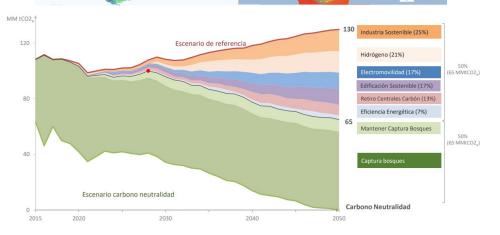
- Sistemas de potencia altamente renovables requerirán tecnologías de respaldo: almacenamiento, recursos distribuidos y mayor capacidad de transmisión.
- Electromovilidad aumentará los requerimientos de baterías, lo que a su vez aumentará la demanda de minerales críticos: demanda de litio podría crecer 30 veces en 2030.



Contexto en Chile

- país posee un enorme potencial de energías renovables variables: solar en el norte y eólico en el extremo
- Compromiso de carbono neutralidad al 2050.
- Retiro total de centrales a carbón 2040 antes.
- Hidrógeno podría aportar con un 21% de la reducción de emisiones al **2050**.





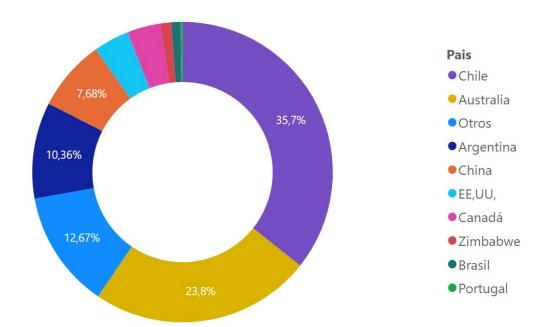
Contexto en Chile



 Chile posee las mayores reservas de litio en el mundo.

 Todas las reservas nacionales de litio identificadas a la fecha están ubicadas en salares: alta concentración de litio en salmuera genera ventajas competitivas frente a otros países.

 Electromovilidad en Chile:
 Venta exclusiva de vehículos eléctricos desde el año 2035.



Oportunidades en Chile

Hidrógeno:

- Potencial y calidad de recursos de generación renovable variable generan una posición estratégica única para la producción de hidrógeno verde en Chile.
- Demanda doméstica y posibilidades de exportación.

• Litio:

- Cantidad y concentración de reservas de litio generan una posición estratégica única para liderar el mercado mediante una colaboración público-privada con múltiples actores.
- Asegurar exportación de litio por el aumento de la demanda en baterías de litio.





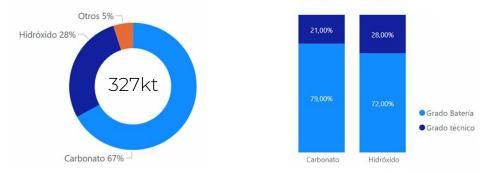
Demanda de Litio



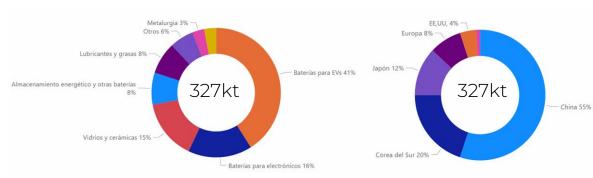
 Los dos compuestos del litio más demandados a nivel global son Li₂CO₃ y LiOH, etiquetados como grado técnico o batería según el fin.

• El **principal uso** final del litio es la **elaboración de baterías** (65%).

 Los países que más demandan compuestos de litio son China y Corea del Sur, debido a su producción de vehículos eléctricos y dispositivos electrónicos



Demanda de litio por tipo y grado al 2020 (Cochilco, 2021)



Consumo de litio por uso final y país al 2020 (Cochilco, 2021)

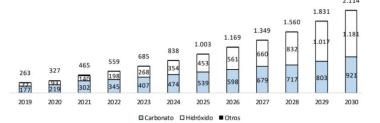
Demanda de Litio



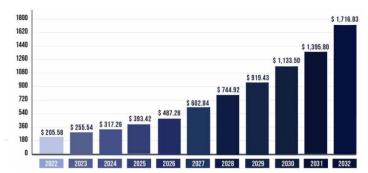
 Se espera un aumento de la demanda de sus compuestos. Lo anterior, alineado con el aumento proyectado del tamaño del mercado de vehículos eléctricos.

 A medida que se privilegien las especificaciones con mayor uso de níquel en baterías, la demanda de hidróxido superará a la del carbonato.

 Posible riesgo por las alternativas a las baterías de litio como las baterías de sodio, sin embargo, su menor densidad que el litio e incipientes desarrollos implican un mayor peso y precio, respectivamente.



Proyección de demanda mundial de litio por tipo de compuesto (kt LCE) (Cochilco, 2021)



Proyección del tamaño de mercado de vehículos eléctricos en miles de millones de USD (Predence Research, 2023)

Producción de Litio



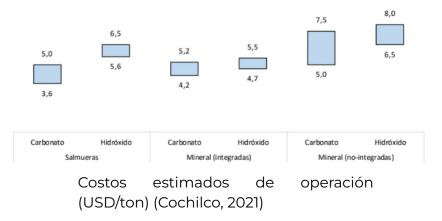
 Las proyecciones muestran un aumento en la producción mundial de litio, basado en el estado de proyectos, producción por país, fuente del mineral y reciclaje proyectados.

 Los costos de producción de carbonato de litio en salmueras son menores que en mineras, dando una ventaja para la producción en el caso de Chile.

 Los costos de producción de hidróxido de litio son mayores en salmuera, ya que primero se debe producir carbonato de litio, lo cual no se hace en mineras.

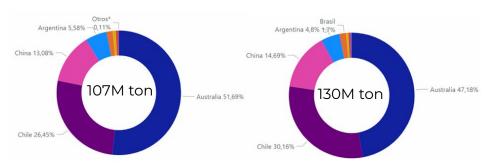


Proyección de producción mundial de litio por compuesto químico (kt LCE) (Cochilco, 2021)

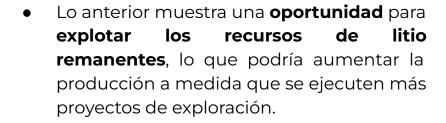


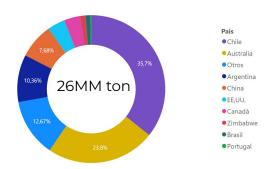


 Chile es el 2º país con mayor producción después de Australia, pero posee las mayores reservas del mundo.



Producción mundial de litio 2021-2022 *No incluye datos de EE.UU por privacidad (USGS, 2023)





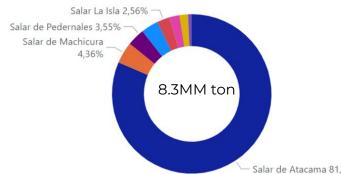
 Chile está ubicado en el triángulo del litio: Zona geográfica con los mayores recursos de litio en el mundo, destacado por su concentración en los salares de la zona.

 Salar de Atacama es el yacimiento con más recursos de litio probados en Chile: Sitio de mayor interés, donde solo SQM y Albemarle explotan el litio en las propiedades de Corfo, pero se espera la investigación del resto de salares, anunciado en la Estrategia Nacional del Litio.





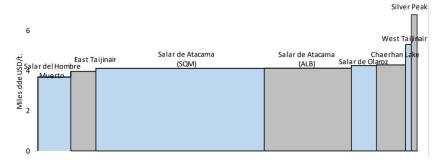
Triángulo del litio (Observatorio salares, 2017)



Distribución de recursos de litio en Chile (Osses, 2021)



- Como se mencionó, además de las reservas es importante la concentración de litio en los salares, puesto que permiten obtener uno de los costos de producción de carbonato de litio más bajos que hay según estimaciones de Cochilco.
- Dado que el 2030 vence el contrato de SQM, existen posibilidades de participar en alianzas público-privadas en el salar
- Existe intención del Estado de explorar y explotar otros salares para desarrollar la industria en otras zonas, mencionada en la Estrategia Nacional del Litio.



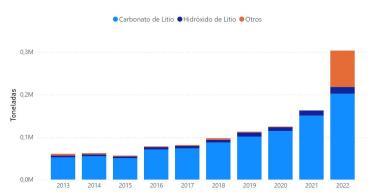
Curva de costos estimados de carbonato de litio en operaciones de salmueras seleccionadas (Cochilco, 2021)

*No incluye royalties ni impuestos a las ganancias



 Aumento de la producción en Chile: Aumento de la demanda, inversión en capacidades de los sitios con permisos previos y renegociación de contrato de Albemarle en 2016 y de SQM en 2018.

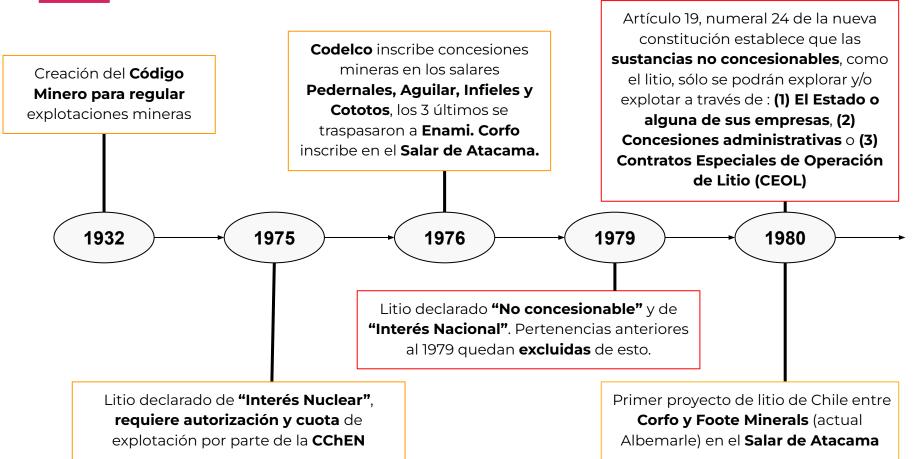
 La mayor parte de los compuestos se exportan de forma directa, por lo que existe oportunidad para desarrollar una industria que agregue valor en la cadena productiva del litio. Por ejemplo, produciendo materiales catódicos, anódicos y electrolitos para baterías.



Producción de litio en Chile por compuesto químico (ton) (SernaGeoMin, 2022)

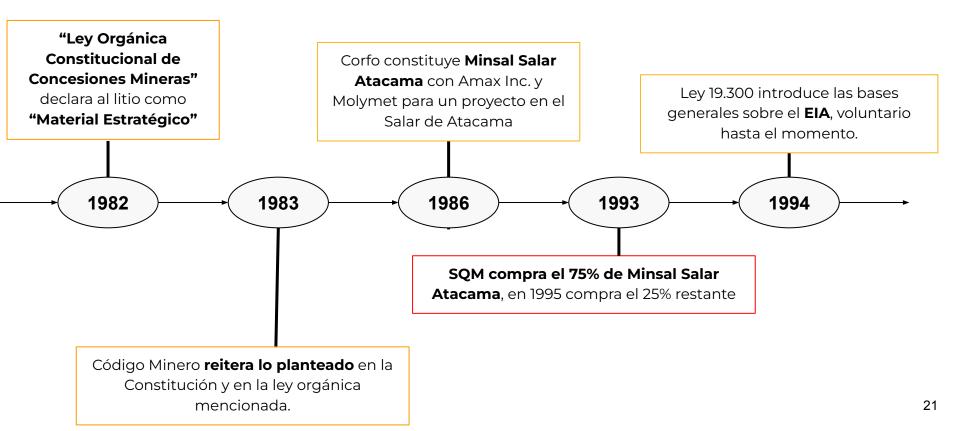
Evolución de la industria del Litio en Chile





Evolución de la industria del Litio en Chile





Evolución de la industria del Litio en Chile



Se crea el **SEA** para uniformar exigencias ambientales, además, **se hace obligatoria la EIA en proyectos mineros**, creando el **SEIA** como instrumento para determinar si cumple la legislación vigente. Se crea la CNL, la cual recomienda al Estado tomar un rol más protagónico en el litio y mantener su no concesionabilidad

Renegociación entre **Corfo y SQM** de las condiciones de explotación en pertenencias del **Salar de Atacama**

1997

2008

2014

2016

2018

Chile ratifica el Convenio 169 de la OIT, obligando la consulta indígena previa en la EIA si corresponde. Sin embargo, **ni la consulta indígena ni la participación**

ciudadana son vinculantes.

Renegociación entre **Corfo y Albemarle** de las condiciones de explotación en pertenencias del **Salar de Atacama**

SQM y Albemarle en Chile



- Actualmente, SQM y Albemarle son las únicas empresas que explotan litio en Chile.
- Poseen "Contratos de arrendamiento" con Corfo para explotar en el Salar de Atacama

Comparativo de las condiciones de los contratos de Albemarle y SQM (Poveda, 2020)

Conceptos	Albemarle	SQM
Cuota Extracción ^(a)	Nueva de 262.132 tons. + remanente de 110.000 de la anterior cuota de 200.000	Nueva de 349.553 tons. + remanente de 64.816 de la anterior de 180.001
Extracción Salmuera y Agua	Se mantienen en 442l/s y 23,5l/s	Se mantiene en 1.500l/s y 240 l/s
Plazo	31-12-2043 (antes no fijado)	31-12-2030 (se mantiene)
Royalty (Pago Comisión)	6,8% a 40% por precio de Li (antes no existía)	6,8% a 40% por precio de Li. (antes 5,8% fijo)
Aportes para I+D (b)	Entre US\$6 y US\$12,4 millones (antes no existían)	Entre US\$10,7 y US\$18,9 millones (antes el 0,8% del 5,8%).
Incentivo al Valor Agregado	Hasta un 25% de la producción a precio preferente	Hasta un 25% de la producción a precio preferente
Comunidades	3,5% de las ventas	Entre US\$10 y US\$ 15 millones
Control y fiscalización	Acceso a información operativa, financiera y ambiental	

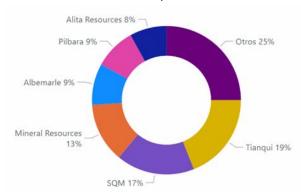
^{*}Nueva cuota sujeta a la instalación de planta de productos de litio grado batería de diferente capacidad *Se prohíbe comercializar productos de bajo valor agregado (salmuera en cualquier concentración)

SQM y Albemarle en Chile

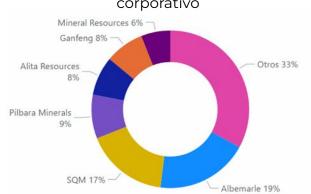
vinken

- Ambas empresas son líderes en la industria de la producción de compuestos de litio, por lo que Chile es atractivo para empresas de gran calibre.
- Para incentivar la competitividad, Chile planea que más empresas participen de licitaciones de CEOL asociadas a exploración y/o explotación en otros salares, las que comenzarán el primer semestre del 2024.
- Se quiere renegociar con las empresas en Salar de Atacama, sobre todo con SQM porque en 2030 vence el actual contrato, por lo que se desea hacer pronto una alianza público-privada para asegurar la explotación.

Producción por control operativo



Producción por control corporativo



Aporte del Litio a los ingresos fiscales

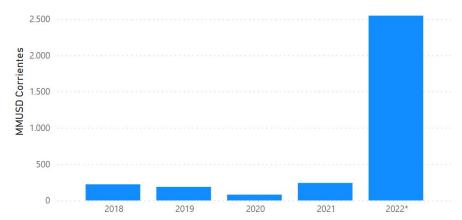


 Boom del litio en 2022: Aumenta su participación en los ingresos fiscales debido a un aumento en la demanda y precio del litio, sin embargo, luego volvió a bajar el precio a medida que las empresas aseguraban sus proveedores.

 Los ingresos por rentas de arrendamiento aumentaron más de 10 veces respecto a los del año anterior, dando señales al Estado del potencial de este mercado y de su elevado valor estratégico.



Aportes al fisco de empresas de litio y cobre (Ex-Ante, 2023)



Ingresos por renta de arrendamiento a Corfo por litio (MM USD corrientes) (CFA, 2023)

Estrategia Nacional del Litio



Involucrar al Estado en todo el ciclo industrial:
 Participación del Estado en las operaciones mediante
 Codelco y Enami, y posteriormente, la Empresa Nacional del Litio. Debe ser participación mayoritaria en salares considerados de "valor estratégico para el país".

 Crear una Red de Salares Protegidos y en aquellos en régimen de explotación: Al menos un 30% de los salares al 2030 deben ser protegidos, Resguardar la sustentabilidad ecológica

Crear el Instituto Tecnológico y de Investigación
Público de Litio y Salares: Recopilar información de (1) la
cadena de valor asociada para mejorar procesos y (2) los
salares para entender su comportamiento.



Estrategia Nacional del Litio (Gobierno de Chile, 2023)

Estrategia Nacional del Litio



• Incorporar al Estado en la actividad productiva del Salar de Atacama: Acuerdo pactado por ambas partes, siempre respetando los contratos vigentes.

 Prospección de otros salares: Evaluar el potencial de extracción de litio en otros salares.

 Diversificación de actores: Fomentar licitaciones de CEOL de exploración a privados, con opción preferente para asociarse con una empresa del Estado para la fase de explotación.

 Desarrollo de nuevas tecnologías de extracción: Se preferirán tecnologías más amigables con los salares, como la extracción directa

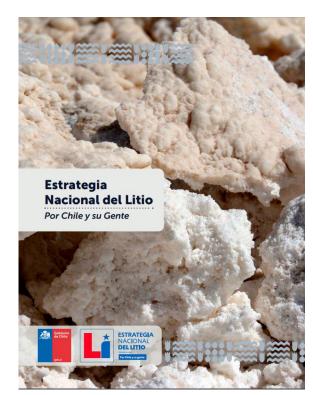


Estrategia Nacional del Litio (Gobierno de Chile, 2023)

Estrategia Nacional del Litio



- El uso futuro de CEOL considerará:
 - En 2023, otorgarlos a filiales de empresas del Estado (Codelco y Enami) en aquellos salares donde ya tienen proyectos en desarrollo. Estas empresas podrán decidir si asociarse o no con un privado.
 - En el primer semestre de 2024, licitarlos a privados para explorar salares catastrados por SerNaGeoMin considerados susceptibles de explotación. Preferencia para posterior exploración en caso de mostrar potencial.
 - Se utilizará como piso para los nuevos proyectos, las condiciones establecidas por Corfo en el Salar de Atacama.



Estrategia Nacional del Litio (Gobierno de Chile, 2023)

Factores a destacar

- Gran potencial de producción debido a las reservas y la gran concentración de litio en los salares, siendo conveniente a nivel de oferta y costos.
- Política de estado para desarrollar más esta industria y atraer nuevos actores.
- Precio de venta preferente en compuestos de litio para industrias con agregación de valor.
- Participación en proyectos de exploración involucra una posición preferente para participar en proyectos de explotación futuros.
- Eventual oportunidad para el desarrollo de baterías de gran escala que permitan concretar el proceso de descarbonización del sistema eléctrico chileno.



Principales desafíos

 Falta aclarar uso de las pertenencias mineras en el Salar de Atacama al término del contrato de SQM con Corfo en 2030.

- Falta aclarar las bases de licitación de CEOL para privados en el 2024
- Falta aclarar el rol del Estado en nuevos proyectos de exploración y explotación
- Nuevas tecnologías de extracción: Deben estudiarse y mejorarse para reducir los impactos ambientales en ecosistemas de los salares.





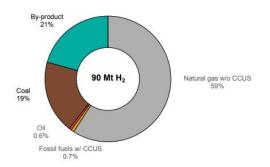
Producción y demanda actual de H2



Sources of hydrogen production, 2020

Casi un 80% de la producción mundial de hidrógeno se obtiene de forma directa a partir de combustibles fósiles.

 Europa, China, Japón, Corea del Norte y Norte América consumen más del 60% de la demanda actual de hidrógeno.



Note: CCUS = carbon capture, utilisation and storage.

Hydrogen and derivatives demand by region, million tons per annum

IEA. All rights reserved.

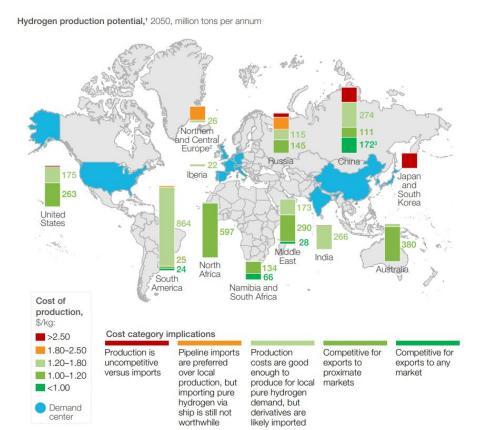


Proyección de oferta y demanda H2



Existe una discordancia entre producción y demanda.

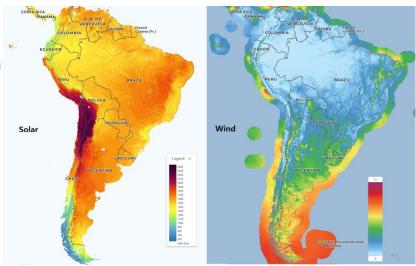
- Países con potencial de producción pero baja demanda, podrían exportar parte del H2 al resto del mundo.
- Japón y algunos países de Europa no serán capaces de cubrir toda su demanda de H2, por lo que tendrán que importar.



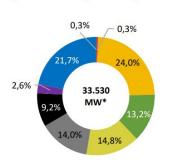
Potencial de producción de H2 verde en Chile

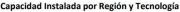


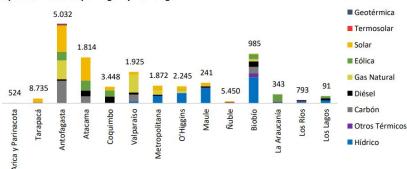
- A la fecha, el sistema eléctrico chileno posee una elevada capacidad instalada de generación renovable, especialmente en generación solar.
- No obstante, el potencial renovable es aún mayor: factores de planta solar superiores al 30% en el norte y factores de planta eólicos superiores al 50% en el extremo sur.



Capacidad Instalada por Tecnología





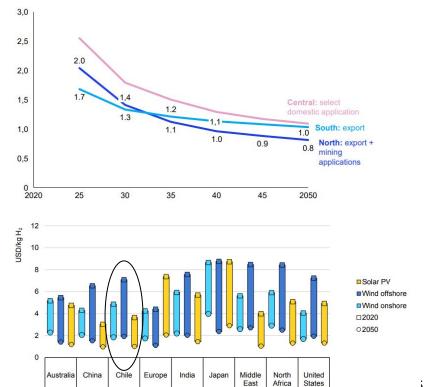


Costos de producción de H2 en Chile



 El hidrógeno producido a través de energía solar y eólica en Chile podría alcanzar costos nivelados de producción en el rango 1.3-1.8 USD/kgH2 en 2030.

 Al comparar este rango de costos de producción con otros lugares del mundo, es posible observar que Chile se posiciona dentro de los países con costos de producción más bajos.



Production cost curve for hydrogen by region, Generation and Electrolyzer costs of LCOH, USD / kg H2

Estrategia nacional de H2

vinken

- Etapa I 2020-2025: Desplegar el hidrógeno verde en 6 aplicaciones prioritarias para el país: refinerías, amoniaco verde, camiones mineros y de ruta, buses de larga autonomía y blending de gas.
- **Etapa II y III 2025-2030 y 2030+**: apalancar la experiencia local para entrar con fuerza en mercados internacionales.

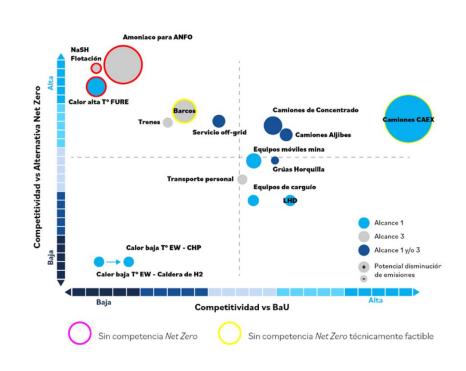




Demanda doméstica potencial



- Como se mencionó anteriormente, la Estrategia Nacional busca impulsar la industria del hidrógeno a través de impulsar en primer lugar la demanda doméstica en las industrias del transporte, refinería, blending, entre otros.
- Uno de los sectores que podría impulsar en mayor medida la demanda nacional de hidrógeno verde corresponde a la minería del cobre: demanda localizada cerca de los centros de producción.
- Para reducir emisiones difíciles de abatir en minería se podría requerir una capacidad de 4.2-6.3 GW de electrolizadores en 2030.



Principales puertos de exportación

- Puntos más estratégicos del país para el desarrollo de hubs y puertos de hidrógeno serían el puerto de Mejillones (Antofagasta) y Cabo Negro (Magallanes).
- Costos de transporte a países como Japón y Alemania no comprometen la competitividad del hidrógeno chileno: algunos estudios estiman costos de suministro en Japón en el rango de 3.94-6.22 USD/kgH2 en 2025.
- Otros puertos con factibilidad de exportar hidrógeno en el futuro, podrían ser el puerto de Quintero y puertos del Bío-Bío (Coronel o San Vicente).

Engie Impact/Tractebel. (2020). Condiciones y Oportunidades para el Comercio de Hidrógeno Verde desde Chile a Alemania y Japón.

Gallardo et al. (2021). A Techno-Economic Analysis of solar hydrogen production by electrolysis in the north of Chile and the case of exportation from Atacama Desert to Japan.





Marco normativo H2 en Chile



- El hidrógeno en Chile es clasificado como una sustancia peligrosa y, según la NCh382.Of98:2003, pertenece a la Clase 2.1 gases inflamables.
- No obstante, el marco regulatorio chileno es poco detallado y no considera elementos especiales de los proyectos relacionados con el hidrógeno y que son importantes de considerar para garantizar la seguridad de las personas y la infraestructura.
- Dada la inexistencia de normativa clara en Chile respecto a las instalaciones de hidrógeno, la SEC exige que se presente un proyecto especial, donde las tecnologías del hidrógeno se encuentren técnicamente respaldadas en normas, códigos o especificaciones nacionales o extranjeras.
- Adicionalmente, se debe presentar una declaración de impacto ambiental (DIA) o evaluación de impacto ambiental (EIA) según sea el caso, donde se evalúe toda la cadena de valor del proyecto de H2.



Proyectos de H2 en desarrollo





Oportunidades de financiamiento



 H2Uppp: busca identificar, preparar y acompañar la ejecución de proyectos de producción y aprovechamiento del hidrógeno verde y las aplicaciones de Power-to-X. Este programa está dirigido para empresas alemanas, europeas y locales del país de destino.



- Crédito verde: refinanciamiento mediante préstamos otorgados por instituciones financieras.
- Fondo para el desarrollo del Hidrógeno Verde: 1000 MUSD para el financiamiento de proyectos de demanda y producción de hidrógeno a través de facilities financieros (créditos concesionales e instrumentos de mitigación de riesgos).

• Otros:

- Mecanismo Conjunto de Crédito Japón (JCM).
- Bonos Verde del Ministerio de Hacienda.











Factores a destacar

- Potencial renovable genera condiciones idóneas para producir hidrógeno verde a precios mundialmente competitivos.
- Política de estado para impulsar esta industria a través de potenciar la demanda doméstica y luego la de exportación.
- Normativa técnica y medioambiental para el desarrollo de proyectos de energía es estable y clara. Normativa específica del hidrógeno se encuentra en desarrollo.
- Se han establecido conversaciones y acuerdos de cooperación con múltiples países. Dentro ellos, destacan los acuerdos con los principales puertos de Europa: Rotterdam, Amberes, Brujas y Hamburgo.



Principales desafíos

- Aún existen muchas brechas normativas a lo largo de toda la cadena de valor del hidrógeno.
- Posibles cuellos de botella en la fabricación de electrolizadores, generando retrasos en los proyectos y eventuales sobrecostos de inversión.
- Aumento de precios al carbono para hacer más competitivas soluciones en base a hidrógeno frente a combustibles fósiles.
- Integración de infraestructura común para aprovechamiento de economías de escala y de ámbito, por ejemplo en infraestructura portuaria, de transporte y de distribución





¡Gracias!



¿Te gustaría contactarnos? Hazlo a través de los siguientes canales:

contacto@vinken.cl www.vinken.cl