



# HIDRÓGENO VERDE EN MINERÍA

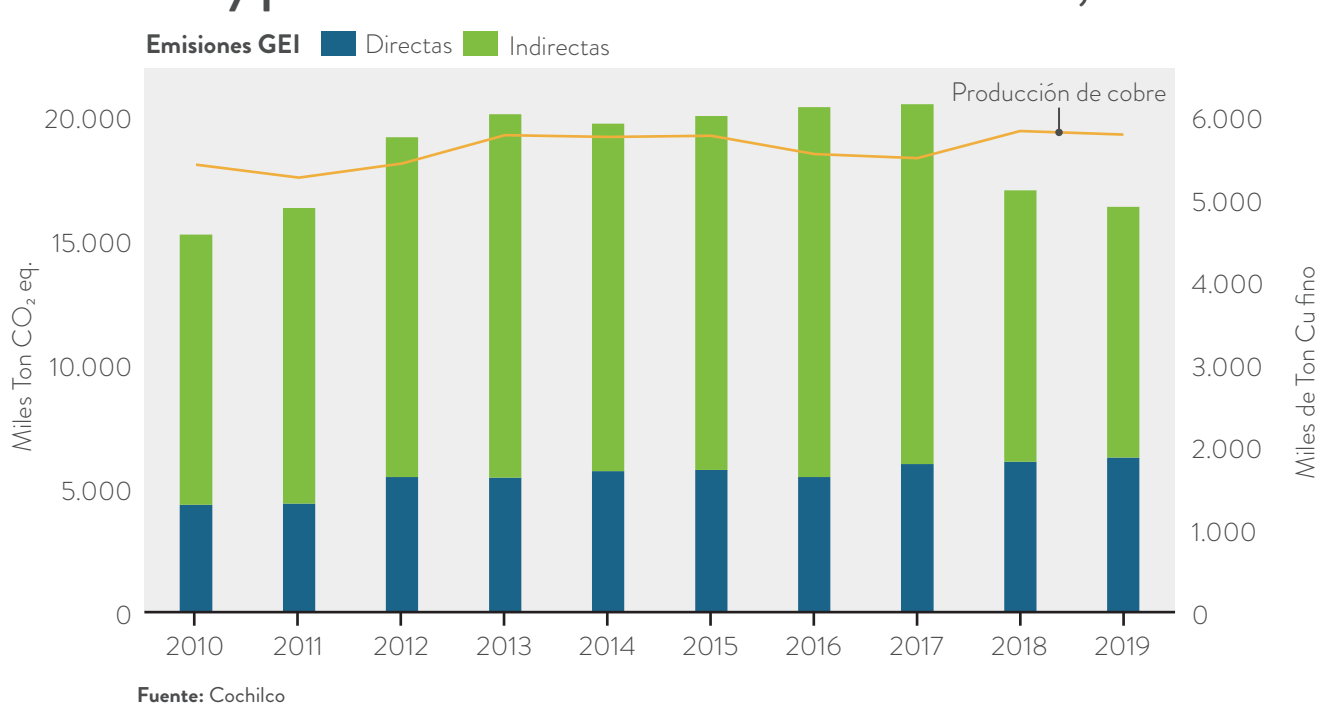
La industria minera es fundamental para la sociedad moderna debido a la alta demanda de metales y materias primas extraídas por esta actividad. Es por ello que es un sector económico donde se utilizan equipos de grandes dimensiones y que tiene también un consumo significativo de energía, la cual proviene de fuentes fósiles. En este contexto el hidrógeno verde (H<sub>2</sub>V) podría jugar un rol clave en la descarbonización de esta actividad.



## Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

La minería tiene emisiones relacionadas directamente a sus operaciones (emisiones directas), siendo la principal fuente la quema de combustibles fósiles en camiones mineros de alto tonelaje. También, existen emisiones relacionadas a la generación de electricidad que se consume en la actividad minera (emisiones indirectas). El nivel de cada una de estas emisiones depende de cada faena, pero se puede observar que a nivel país en los últimos años las emisiones indirectas se han reducido por la entrada de energías renovables.

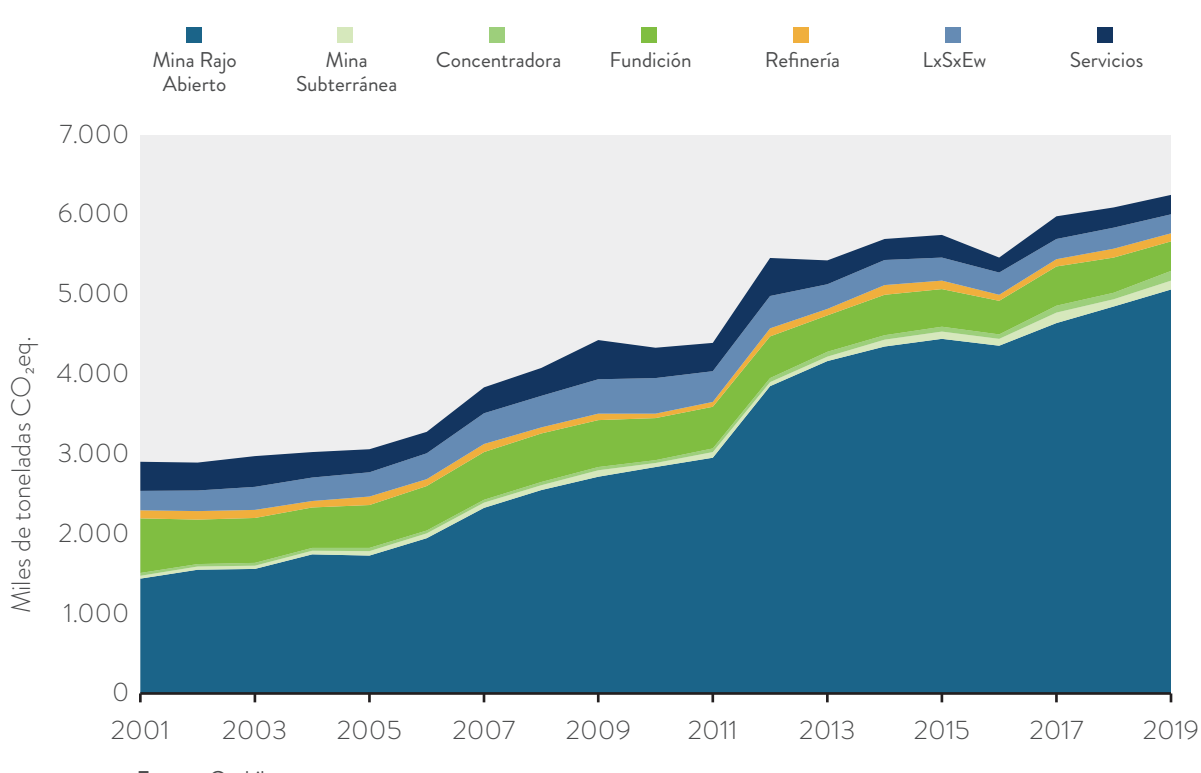
## Emisiones y producción de la minería del cobre en Chile, 2001-2019



Fuente: Cochilco

Sin embargo, las emisiones directas siguen en aumento debido al envejecimiento de las minas, lo que se traduce en mayores distancias de transporte y mayores cantidades de material a procesar. Actualmente la minería es responsable de cerca de 5% de las emisiones locales. Es ante esto que se necesita la introducción de nuevas tecnologías para la reducción de emisiones, siendo el H<sub>2</sub>V una solución factible en equipos difíciles de electrificar a batería convencional.

## Emisiones directas de la minería del cobre por proceso, 2001-2019



Fuente: Cochilco

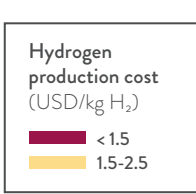
## Minería es una industria idónea para impulsar el uso de hidrógeno verde

Afortunadamente los yacimientos mineros en el país se ubican en zonas privilegiadas para la producción de hidrógeno verde dada la presencia de recursos energéticos renovables. Esto convierte a la industria minera en un candidato excelente para incorporar el uso de hidrógeno verde y así es considerado también en la estrategia nacional de hidrógeno.



## LCOH para producción desde electrólisis

Con suministro híbrido paneles solares y onshore wind en 2050.

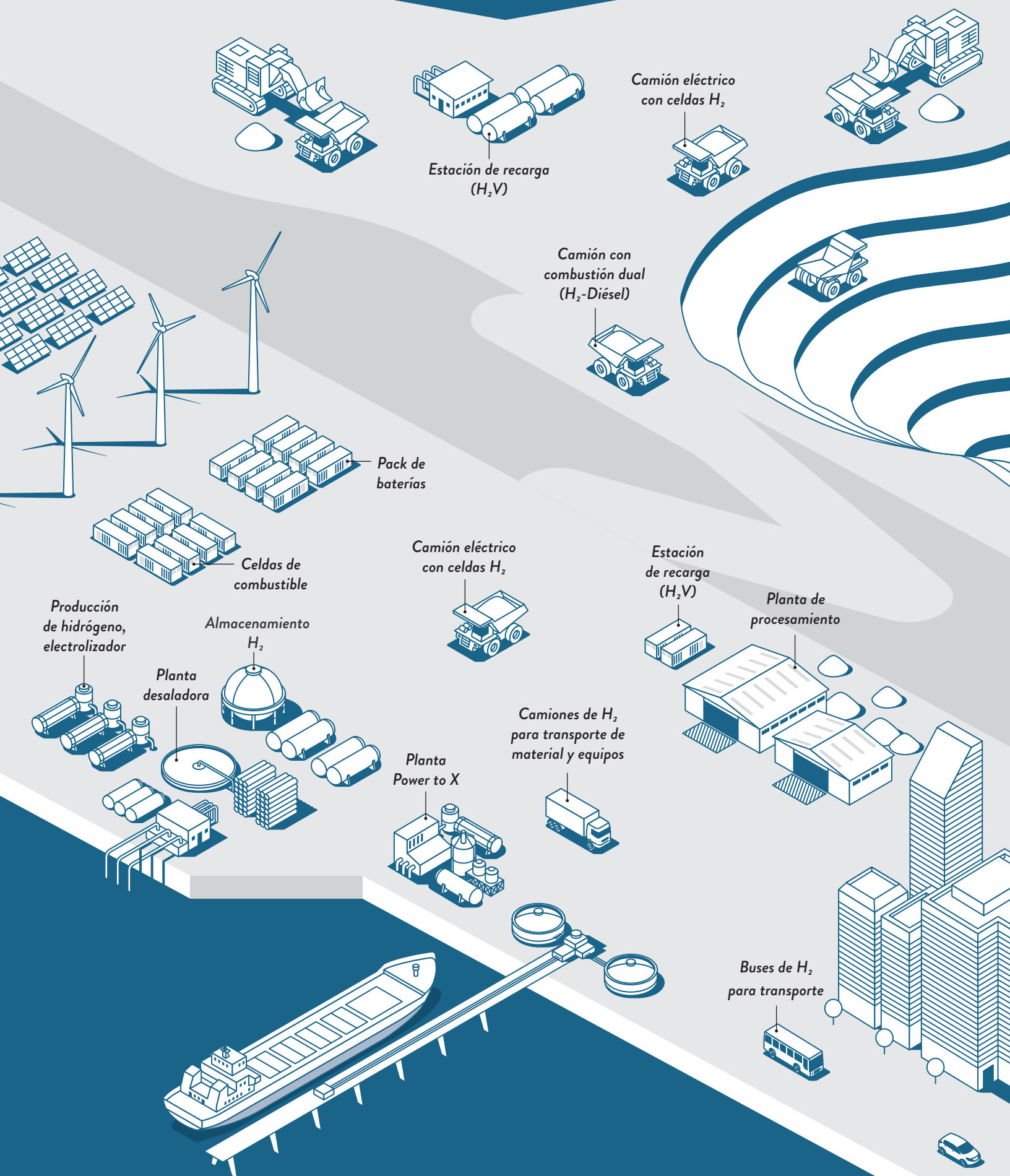


- Cerro Colorado
- Collahuasi
- Quebrada Blanca
- El Abra
- Chuquicamata
- Radomiro Tomic
- Antucoya
- Spence
- Centinela
- Mantos Blancos
- Lomas
- Zaldivar
- Escondida
- Fundición Altonorte
- El Peñon
- El Salvador
- La Coipa
- Ojos del Salado
- Mantoverde
- Candelaria
- Carmen de Andacollo
- Los Pelambres
- El Soldado
- Fundición Chaques
- Andina
- Los Bronces
- El Teniente

Fuente: Elaboración propia en base a IEA, 2021

# ECOSISTEMA DE USO DE H<sub>2</sub>V EN MINERÍA

En el ecosistema minero el hidrógeno tiene potencial para ser utilizado en fabricación de explosivos de bajas emisiones, movimiento de mineral (camiones de alto tonelaje y para minería subterránea), procesos metalúrgicos, generación eléctrica de respaldo, transporte de personal e insumos a la mina y exportación del mineral de forma sustentable.



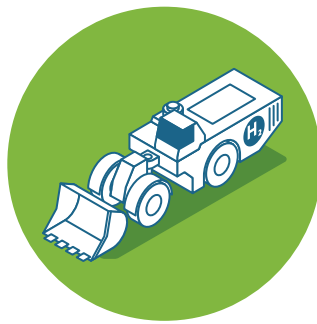
# APLICACIONES DE H<sub>2</sub>V EN MINERÍA

Actualmente se está buscando incorporar el hidrógeno verde en equipos y procesos mineros, enfocándose en aquellos difíciles de electrificar como es el caso de camiones mineros de alto tonelaje, equipos móviles de minería subterránea y generación eléctrica de respaldo.

## Potenciales aplicaciones



**Camiones mineros de alto tonelaje (CAEX)**



**Equipos móviles de minería subterránea (LHD)**



**Equipos fijos (para generación eléctrica)**

### Consumo de H<sub>2</sub>

Alto	Bajo	Depende de la aplicación
------	------	--------------------------

### Principales ventajas

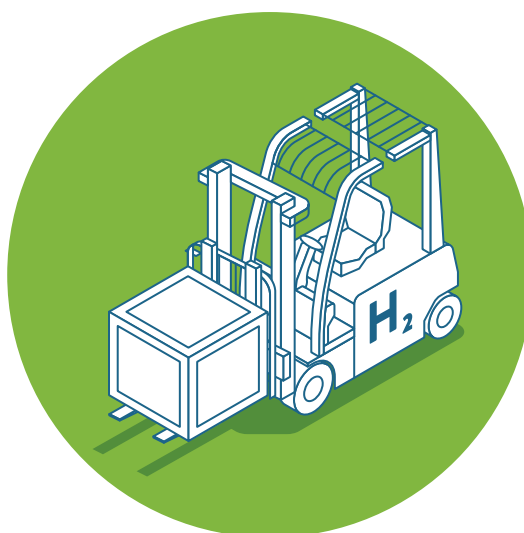
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de emisiones del principal componente (transporte minería rajo).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce requerimientos en ventilación.</li> <li>• Reducciones en emisiones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos equipos fijos no son electrificables o se necesita respaldo ante falta de suministro eléctrico.</li> <li>• Alternativas a procesos que consumen combustible fósil.</li> </ul>
--	--	--

### Estado de tecnológico

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dos alternativas en desarrollo (combustión dual y celdas de combustible).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En desarrollo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existente para generación de respaldo.</li> <li>• Líneas de proceso alternativas en desarrollo.</li> </ul>
---	--	---

## ¿Por qué la minería en Chile comenzó con grúas horquillas?

En busca de estar preparados para la aplicación de H<sub>2</sub>V en equipos más masivos, la industria minera en Chile ha comenzado a introducir el H<sub>2</sub>V en aplicaciones ya maduras y probadas como son las grúas horquillas.



Para mayor información sobre esta aplicación puede revisar la ficha preparada por H2 Chile.

[Descargar aquí](#)

## Proyectos en desarrollo

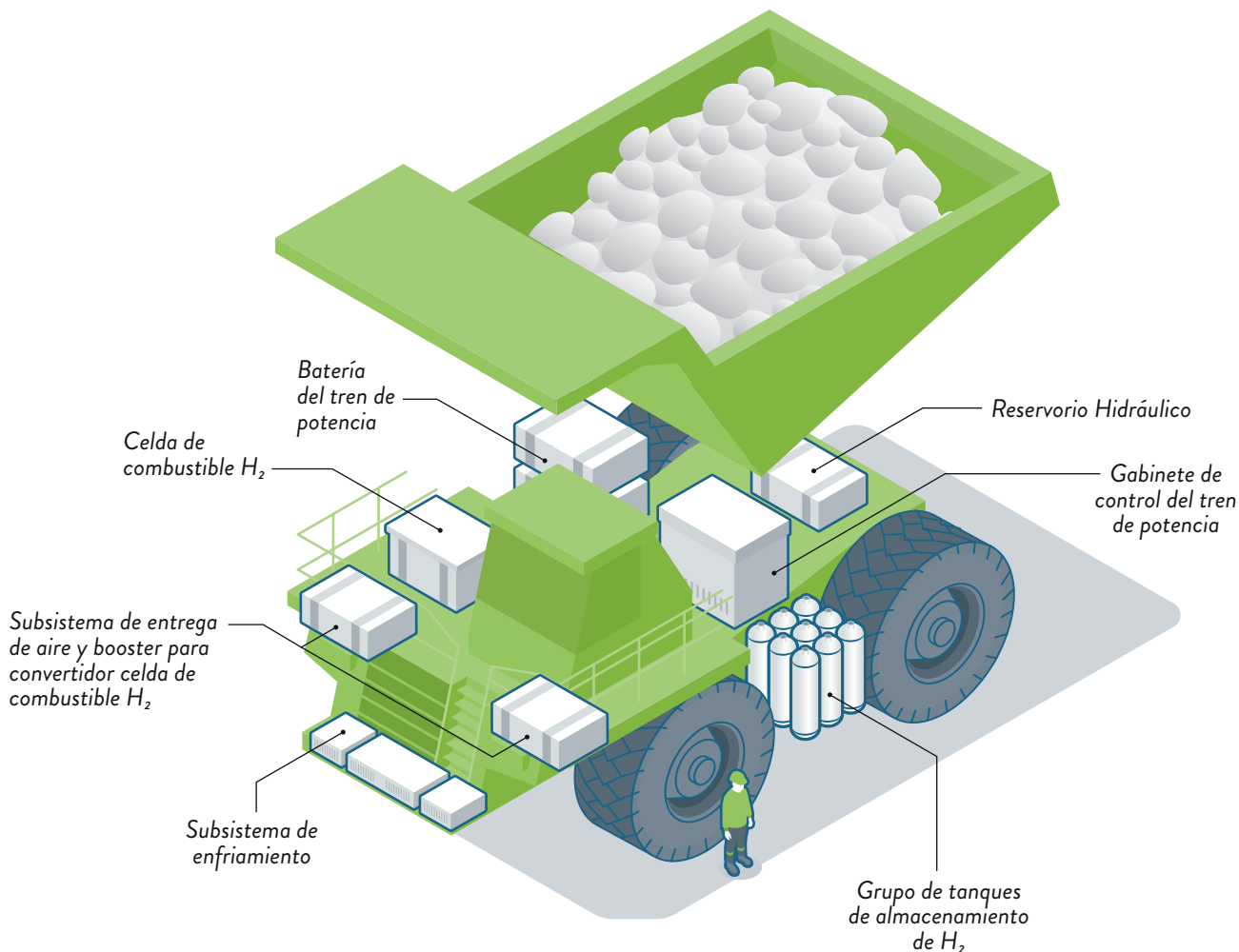
Descripción	Participantes del proyecto	Ubicación	Estado
Desarrollo de motor de potencia en base a celdas de combustible y baterías para un CAEX**	Mining 3 Engie Csiro Chile	Chile	Pilotaje
CAEX propulsado por celdas de combustible	Anglomeran	Sudáfrica	Pilotaje
CAEX propulsado por celdas de combustible	Fortescue	Australia	Pilotaje
Uso de H <sub>2</sub> en el sitio minero como almacenamiento de electricidad	Glencore	Canadá	Pilotaje
Uso de H <sub>2</sub> en proceso de producción de concentrado cero emisiones**	Universidad de Concepción	Chile	Factibilidad
Electromovilidad mediante Celdas H <sub>2</sub> **	UTFSM	Chile	Pilotaje
Combustión dual (H <sub>2</sub> -Diésel) en CAEX	ALSET	Chile	Pilotaje

\*\* Proyectos financiados por CORFO

# CAMIONES MINEROS

Estos equipos son utilizados para acarrear el material desde la mina hasta su procesamiento. Aunque estos camiones suelen ser impulsados por motores eléctricos, la electricidad es generada mediante la combustión de altas cantidades de diésel, por lo que se busca reemplazar ese combustible por opciones como el H<sub>2</sub>V.

## Estructura CAEX con celda H<sub>2</sub>



## Posibles aplicaciones camiones mineros de alto tonelaje

Dada la disminución de leyes del mineral y el aumento de la profundidad de las minas es que estos equipos han incrementado su demanda de diésel. Además, dadas sus condiciones de uso en minería del cobre, algunas alternativas de bajas emisiones como Trolley o baterías son poco competitivas. Sin embargo, el hidrógeno parece una alternativa interesante para reducir las emisiones dado el menor peso y autonomía que entrega.



Características



Emisiones



Proyecciones futuras de minas a cielo abierto

Equipos diseñados para acarrear cerca de 300 toneladas de mineral, un auto promedio pesa 1 tonelada.

Consumo de diésel de 3.600 litros por día, un automóvil de ciudad recorrería 36.000 km con ese combustible.

Menores leyes del mineral extraído.

Motores tienen una potencia cercana a los 2.000 kW. Es decir, equivalente a un generador eléctrico.

Emisiones anuales de 5.000 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada camión.

Minas más profundas equivalentes a mayores distancias a recorrer.

## Uso de H<sub>2</sub> en camiones mineros



## ¿Qué requiere un CAEX para usar H<sub>2</sub>?



**Demanda de H<sub>2</sub>**

1 tonelada al día, cuando otros equipos como grúas horquillas y automóviles requieren menos de 5 kg H<sub>2</sub>/día



**Capacidad de electrolizador requerida**

5 MW considerando operación de 10 horas al día, esto implica también disponer de la planta de generación eléctrica renovable asociada.



**Consumo de agua**

Se considera usar agua desalada y/o recirculada de procesos, además el porcentaje respecto al total de agua de la industria minera es poco significativo (1,6% adicional de agua para reemplazar todo el diésel)

## Tecnologías en desarrollo para CAEX

Si bien actualmente no hay soluciones de CAEX propulsados a hidrógeno disponibles, se encuentran en desarrollo dos líneas paralelas de tecnologías: la combustión dual y la opción a celdas de combustible.



**Combustión dual**

Alternativa de transición que consiste en operar el camión con un motor de combustión interna con una mezcla de diésel con hidrógeno, de esta manera se puede sustituir un porcentaje de diésel. La ventaja de esta solución es que entrega una confiabilidad igual al del camión actual pero adoptando el nuevo combustible sin reemplazar el motor sino que adaptando, preparando el camino a soluciones 100% H<sub>2</sub>.

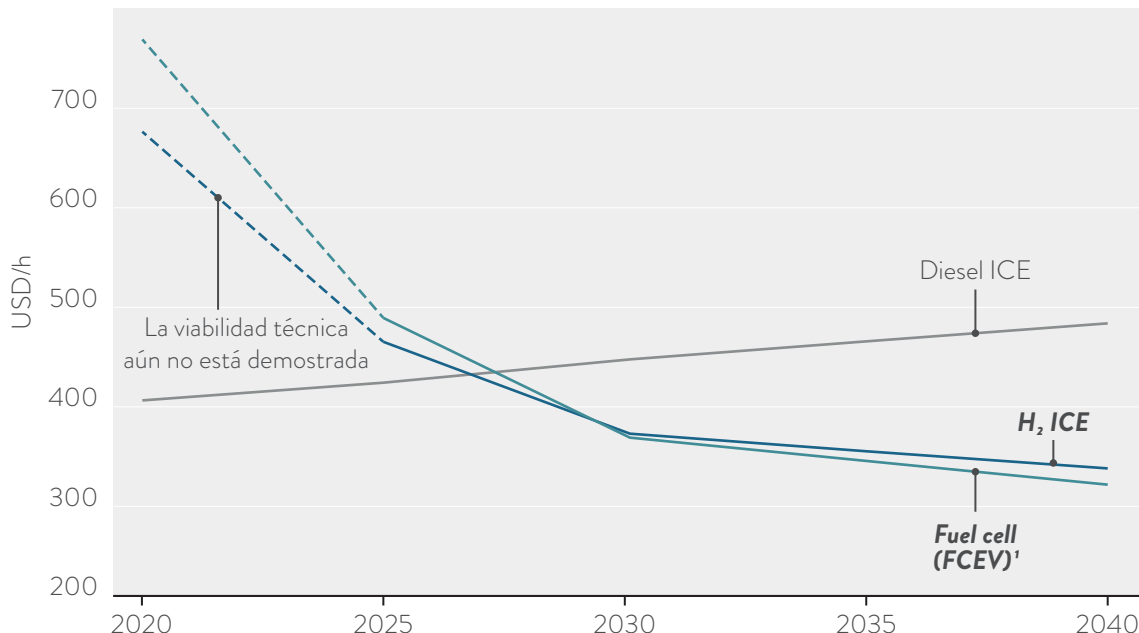


**Celdas a combustible**

Esta alternativa es modificar el sistema de propulsión del CAEX usando un paquete de baterías y celdas de combustible que permite que el vehículo se propulsione consumiendo 100% H<sub>2</sub> como combustible. Ésta sería la opción preferida tanto ambiental como económicamente a largo plazo.

## Evolución Total Cost of Ownership (TCO) para CAEX

(En base a camión de 300 toneladas a cielo abierto)



': Asumiendo los costes de producción de hidrógeno renovable en Chile

Fuente: Hydrogen Council, 2021



# REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO EN MINERÍA

La minería es una industria fuertemente preocupada por la seguridad de sus trabajadores y que actualmente no tiene una regulación que aborde completamente el uso de hidrógeno como combustible.

Actualmente se han realizado esfuerzos creando guías para la ejecución de proyectos piloto por parte de la SEC y Sernageomin. Sin embargo, aún se encuentra en desarrollo la reglamentación específica que se exigirá para la realización de proyectos a escala real.



Guía de apoyo para solicitud de autorización de proyectos especiales de hidrógeno, SEC.

[Descargar aquí](#)



Guía de implementación de pilotos y validación de tecnologías que utilizan hidrógeno como combustible en minería, Sernageomin.

[Descargar aquí](#)

## Características especiales de uso de H<sub>2</sub> en minería



### Grandes altitudes

Hay menor presión atmosférica y menor cantidad de oxígeno, aspectos que afectan el rendimiento y comportamiento de la celda de combustible.



### Presencia de polvo

Alta presencia de polvo debido a actividades como tronaduras y desplazamiento de camiones, lo que implica mayor mantenimiento en los filtros y su mantenimiento.



### Temperaturas extremas

En zonas desérticas suelen existir altas temperaturas por el día y bajas por la noche.



### Uso en condiciones subterráneas

La minería subterránea requiere sistemas de ventilación adecuados para cumplir con los estándares de seguridad de H<sub>2</sub>.

H2 Chile es un espacio colaborativo entre entidades públicas y privadas interesadas en el uso del hidrógeno como vector energético. Es una plataforma para enseñar, educar, colaborar, promover y producir un cambio significativo en como la sociedad visualiza el hidrógeno, posicionando a Chile como líder en producción y uso de "Hidrógeno verde".

Para mayor información puede escribir a [proyectos@h2chile.com](mailto:proyectos@h2chile.com)

Esta ficha junto a sus ilustraciones son propiedad de H2 Chile, se prohíbe su divulgación parcial sin previo consentimiento.

Noviembre 2021

