



Conceptualización de un Proyecto Integral de Agua y Energía para diferentes usos finales

ANEXO A – Hidrógeno Verde

Edición:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Conceptualización de un Proyecto Integral de Agua y Energía para diferentes usos finales

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:

Rodrigo Vásquez

En coordinación:

Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción: En trámite. ISBN: 978-956-8066-51-2. Primera edición digital: julio 2023

Cita:

Título: Conceptualización de un Proyecto Integral de Agua y Energía para diferentes usos finales
Autor(es): GIZ, CDM Smith
Revisión y modificación: David Anabalón Flores, José Fuster Justiniano.
Edición: Andreina Núñez, Pía Said, Macarena Escudero, Joaquín Petit.
Santiago de Chile, 2022.
20 páginas
Agua – Energía – Desalinización – Hidrógeno Verde

**Aclaración:**

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto “Descarbonización del Sector Energía en Chile” implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa internacional sobre el clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania - BMU. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, 11 de julio de 2023

Tabla de Contenidos

Anexo A	Hidrógeno Verde.....	3
A.1	Demanda de hidrógeno.....	5
A.1.1	Camiones CAEX.....	5
A.1.2	Camiones de transporte.....	9
A.1.3	Ferrocarril.....	11
A.1.4	Resumen demanda de hidrógeno.....	13
A.2	Demanda de agua para la producción de hidrógeno.....	16
	Referencias.....	18

Listado de Tablas

Tabla A-1	Mermas de tiempo en la operación de camiones CAEX.....	7
Tabla A-2	Consumo y capacidad diaria calculados por tonelaje de camión.....	8
Tabla A-3	Cantidad de camiones según ubicación y tonelaje.....	8
Tabla A-4	vehículos de carga según comuna de interés.....	10
Tabla A-5	Demanda anual de hidrógeno para camiones de extracción (CAEX).....	13
Tabla A-6	Demanda anual de hidrógeno para camiones de transporte.....	14
Tabla A-7	Demanda anual de hidrógeno para ferrocarril Ferronor.....	15
Tabla A-8	Demanda anual de hidrógeno total.....	15
Tabla A-9	Demanda de agua para producción de hidrógeno.....	16

Listado de Figuras

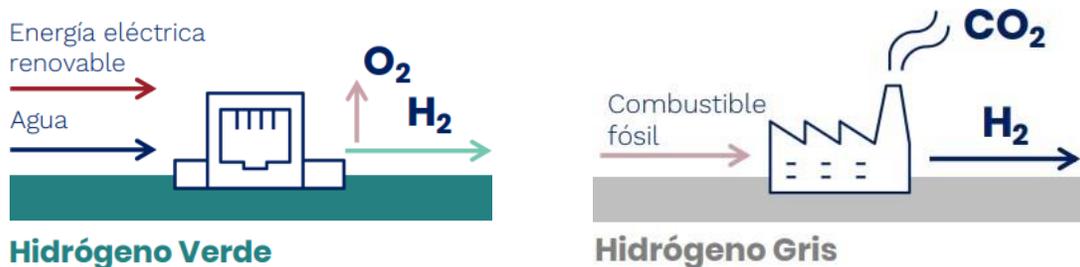
Figura A-1	Diferencias entre la producción de hidrógeno verde y gris.....	3
Figura A-2	Mapa bidimensional entre incertidumbre de desarrollo y año estimado de viabilidad económica.....	4
Figura A-3	Gráfica de rimpull de camión 200 [tc].....	6
Figura A-4	Rajo mina Los Colorados, vista satelital. Largo estimado de ruta estimado en 3080 [m].....	7
Figura A-5	Parque vehicular de carga pesada en la región de Atacama. Valores totales.....	10
Figura A-6	Ruta seguida por ferrocarril, con largo total por tramo de 109[km].....	12
Figura A-7	Demanda anual de hidrógeno total 2030.....	15
Figura A-8	Demanda anual de hidrógeno total 2050.....	16

Anexo A

Hidrógeno Verde

Chile se ha comprometido con la acción climática con iniciativas para buscar la carbono-neutralidad al 2050. Algunas de estas iniciativas tienen que ver con el cambio en la forma en que la energía se produce y se consume, camino que ya ha comenzado con proyectos de energías renovables, sin embargo, es necesario poder profundizar en otras alternativas como el hidrógeno verde (H₂V) para la generación de energía y contribuir activamente en la transición energética (Ref. [A.1]).

A modo de resumen, para que la producción del hidrógeno (hidrógeno elemental (H₂)), como fuente de energía, sea considerada verde, se debe utilizar agua y suministro energético a partir de energías renovables. Además de utilizar la inagotable energía renovable, el H₂V actúa como fuente energética que no produce gases de efecto invernadero (como sí lo hace la producción de hidrógeno gris), y puede reemplazar combustibles para producir electricidad calor y diversos compuestos.



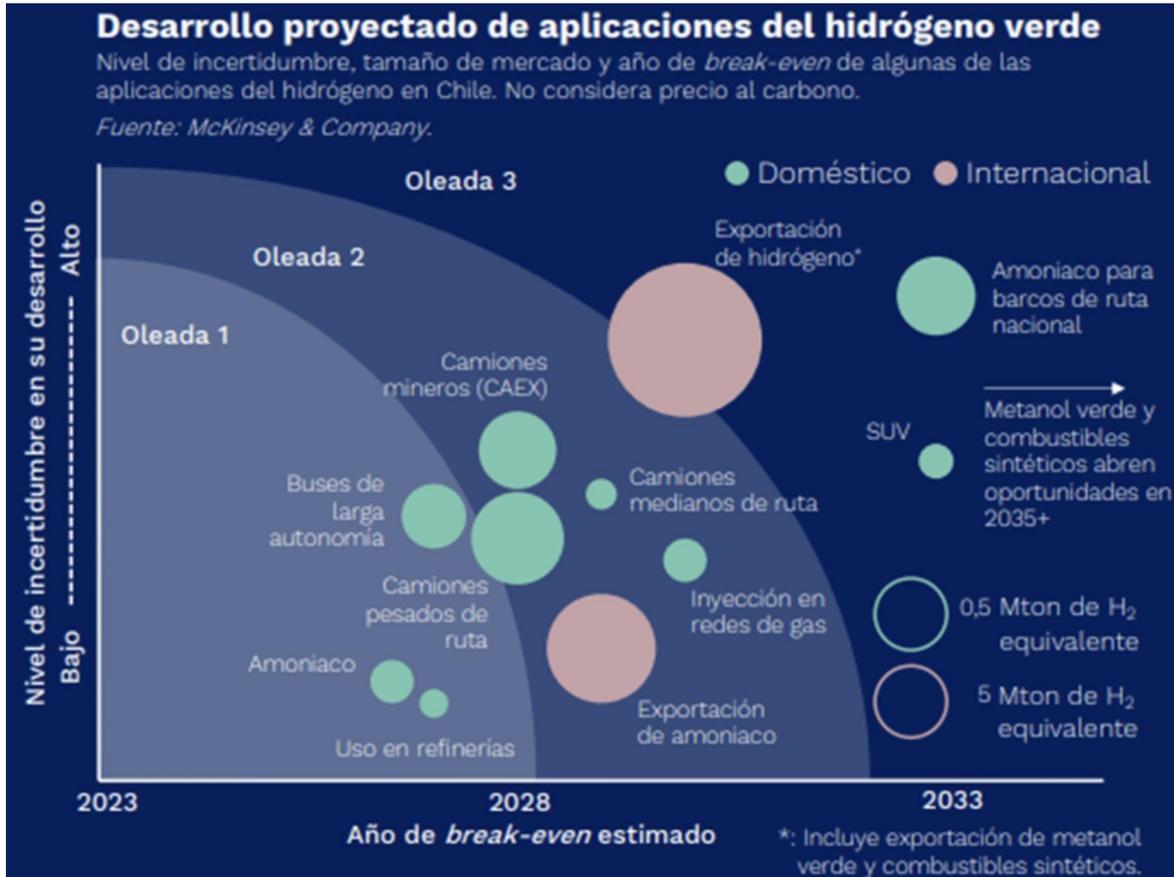
Fuente: Ref. [A.2]

Figura A-1 Diferencias entre la producción de hidrógeno verde y gris

En línea con el compromiso publicado de ser carbono-neutrales hacia el 2050, el Gobierno de Chile ha publicado su estrategia nacional de Hidrógeno Verde. En ella, se proyecta que Chile tenga acceso a la producción del Hidrógeno Verde a menor costo del mundo, habilitado por el bajo costo proyectado de producción de energías renovables necesarias para su producción. En particular, en la zona norte se encuentra la radiación solar más alta del planeta siendo beneficioso para proyectos solares fotovoltaicos, y en la zona sur los vientos del extremo austral promueven proyectos eólicos (Ref. [A.2]).

Asimismo, se espera que el hidrógeno verde actúe como vector energético para transformar algunos sectores de alto consumo energético, reemplazando de manera parcial o total los combustibles fósiles (Ref. [A.2]). La generación de este combustible tiene diferentes aplicaciones (Figura A-2), desde uso en refinерías, producción de amoníaco, como en combustible para medios de transporte. Proyectos como el "Atacama Hydrogen Hub" que se instalará en la bahía de Mejillones, Región de Antofagasta están enfocados a la producción de hidrógeno verde, particularmente en producción de amoníaco, permitiendo su almacenamiento, transporte y

posterior utilización para producción de hidrógeno verde, y así otros con diferentes aplicaciones (Ref. [A.24]).



Fuente: Ref.[A.2]

Figura A-2 Mapa bidimensional entre incertidumbre de desarrollo y año estimado de viabilidad económica

Con base en este antecedente, y buscando la forma de generar demanda nacional en línea con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, se considerarán dentro del presente estudio las demandas potenciales de Hidrógeno dentro de la región de Atacama hacia el 2050, como se puede ver en la imagen precedente.

Como principales consumidores posibles se identifican tres tipos:

- Camiones tolva mineros, o CAEX.
- Camiones de transporte de carga.
- Ferrocarriles de carga.

Estos tres sectores se consideran como los más relevantes en la región, dado que son sistemas de alta potencia que requieren una gran densidad energética y tiempos de carga bajos, lo que ha causado una dificultad mayor en su electrificación.

A.1 Demanda de hidrógeno

A.1.1 Camiones CAEX

A continuación, se presentan los aspectos considerados para la estimación de la demanda:

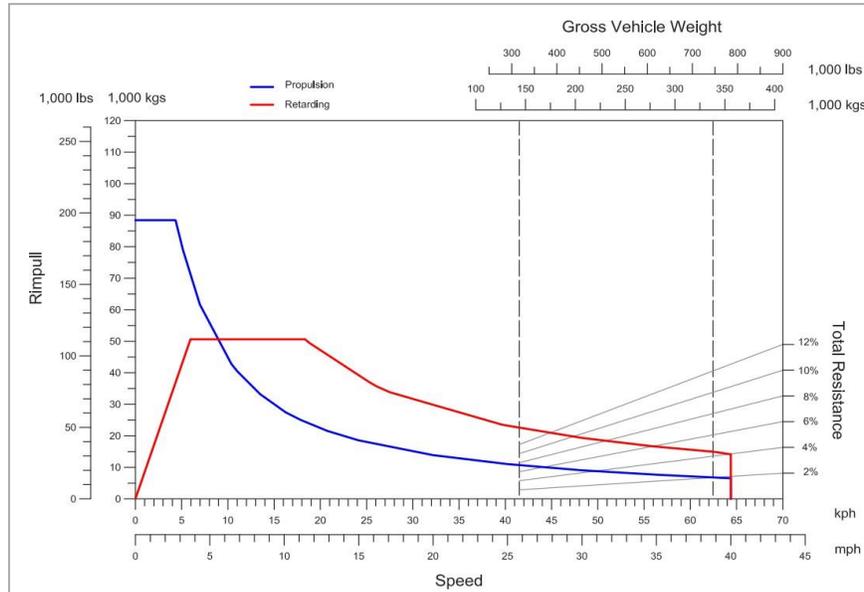
Para los camiones de extracción (CAEX) se consideró su uso en los siguientes proyectos mineros: Los Colorados, Nueva Unión, mina Dos Amigos y Cerro Blanco (Ref. [A.3], [A.4], [A.5] y [A.6]).

Con respecto a las minas Nueva Unión y Cerro Blanco, no se conoce la flota de camiones. Sin embargo, este valor se estima utilizando como modelo las minas Los Colorados y Dos Amigos, respectivamente, puesto que son minas de volumen de explotación mineral bruta semejante.

La estimación del camino que recorren los camiones CAEX para movilizar el material se realiza basándose en la información recopilada de mina Los Colorados. La estimación del camino se utiliza para modelar el consumo energético de un camión según su tonelaje y gráfica de Rimpull¹ asociada.

Para Los Colorados, en base a estudios presentes en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), se encuentra que esta mina utiliza una flota mixta de camiones CAEX de 200 y 240 toneladas cortas (tc) (Ref. [A.3]). Como modelos base para el cálculo se utilizan las gráficas de rimpull de los siguientes camiones: Komatsu 730-E10 para el modelo de 200[tc] (Ref. [A.7]) y Komatsu 830E-5, que tiene una capacidad de 250 [tc] (Ref.[A.8]). En la mina Dos Amigos se utiliza una flota de camiones de 100 [tc] (Ref. [A.4] y [A.9]), para el que se utilizará como modelo un Komatsu HD785-7.

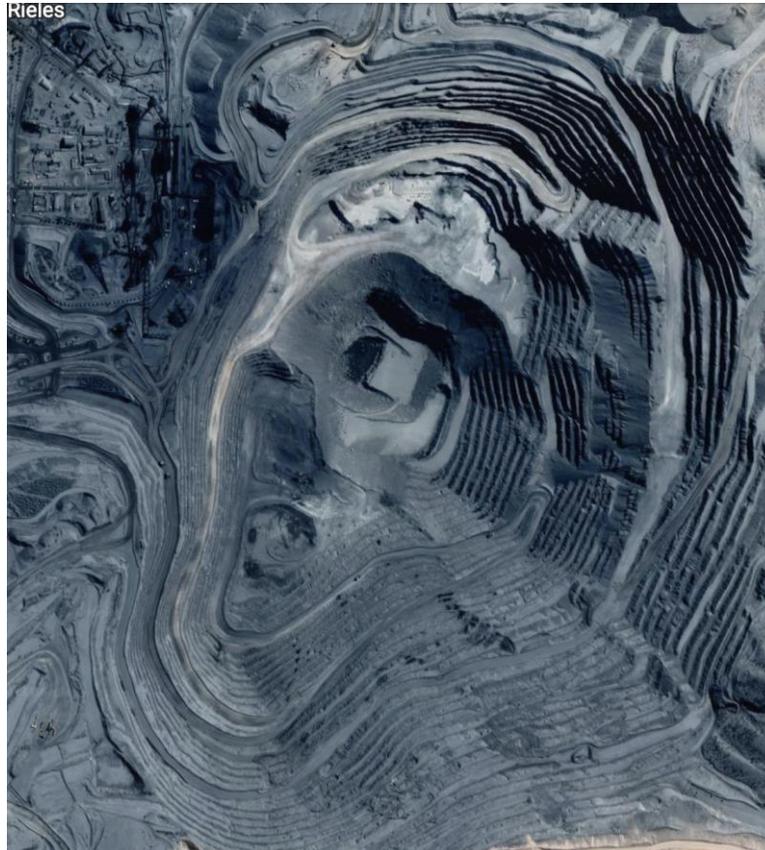
¹ El Rimpull está asociado con la cantidad de fuerza ejercida en la zona de contacto entre el vehículo y el suelo [Ref. [A.10]]



Fuente: Ref. [A.7]

Figura A-3 Gráfica de rimpull de camión 200 [tc]

Este gráfico, en conjunto con la resistencia al rodaje del camión y un perfil de camino estimado, permiten calcular la energía requerida por cada viaje de camión, así como determinar el tiempo de viaje ida y vuelta. Como punto inicial para estimaciones de un perfil de camino, se utiliza información obtenible mediante imagenología satelital de la mina los Colorados, la cual se presenta en la Figura A-4.



Fuente: Ref. [A.11]

Figura A-4 Rajo mina Los Colorados, vista satelital. Largo estimado de ruta estimado en 3080 [m]

La resistencia al rodaje del camión se estima en un 3% (Ref. [A.12]), correspondiente a gravilla compactada. La pendiente promedio del camino se considera de 10% para tramos inclinados. Con ello se estima un tiempo de viaje total para ida y vuelta, con su consumo total asociado. Existen tiempos adicionales de pérdida asociados al movimiento de camiones, valores que son asumidos de acuerdo con la experiencia del consultor y expuestos en la Tabla A-1.

Tabla A-1 Mermas de tiempo en la operación de camiones CAEX

Tipo de Pérdida	Valor
Tiempo de posicionamiento	1 min
Tiempo de carga	3.2 min
Disponibilidad Mecánica ²	86%
UEBD ³	75%

Fuente: Elaboración propia

² Porcentaje de tiempo que el equipo total que el camión está en condiciones de ser operado

³ Utilización Efectiva Base Disponible: Porción del tiempo disponible del equipo a ser operado en que el equipo se encuentra realizando las actividades específicas para las que fue adquirido.

Con base en esto, y utilizando una eficiencia para celdas de combustible a hidrógeno de un 55% como valor supuesto (Ref. [A.9]) se obtienen los siguientes valores que se utilizarán como valores de cálculo para camiones CAEX.

Tabla A-2 Consumo y capacidad diaria calculados por tonelaje de camión

Variable	Camión 100 [tc]	Camión 200[tc]	Camión 240[tc]
Energía al eje consumida por viaje	202 [kWh]	328 [kWh]	418 [kWh]
Toneladas transportadas por día	4368 [t]	8000[t]	10238 [t]
Consumo H ₂ equivalente por camión.	529 [kgH ₂ /día]	788 [kgH ₂ /día]	1025 [kgH ₂ /día]

Fuente: Elaboración propia

La estimación de la cantidad de camiones CAEX se realiza basándose en las toneladas diarias de explotación que declara cada una de las minas (Ref. [A.4], [A.13] y [A.6]). En el caso de mina los Colorados, se estiman 16 camiones de 240[tc] y 8 de 200 [tc], resultados que si se comparan con los 15 y 8, respectivamente, declarados por la mina, permite concluir que la estimación podría ser adecuada para minas del tamaño de Los Colorados, por lo que se utiliza para estimar la cantidad de camiones en mina Nueva Unión.

Por otro lado, al examinar la mina Dos Amigos, los valores estimados son de 6 camiones, versus los 12 declarados (Ref. [A.4]), por lo que existe una discrepancia, potencialmente asociada a una disponibilidad menor o a factores no considerados. Por ello, para mina Cerro Blanco se asumirá que tiene una flota similar a Dos Amigos como medida conservadora.

Tabla A-3 Cantidad de camiones según ubicación y tonelaje

Mina	Explotación	CAEX 240 [tc]	CAEX 200[tc]	CAEX 100[tc]
Los Colorados	84 [Mt/año]	15	8	0
Nueva Unión	87.6 [Mt/año]	17	8	0
Dos Amigos	9.6 [Mt/año]	0	0	12
Cerro Blanco	11 [Mt/año]	0	0	13

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se considera que para el momento de entrada en operación de la planta desalinizadora ya se habrá llegado al punto de break-even de la reconversión de camiones CAEX para su operación con hidrógeno, según se plantea en la Figura A-2. Se plantea como escenario agresivo de adopción de la tecnología a 2030 como un 30% de la flota convertida a H₂, y para 2050, un 100% de la flota funcionando en base a esta tecnología. Esto permite dar una visión conservadora de las cantidades de H₂ que se podrían requerir.

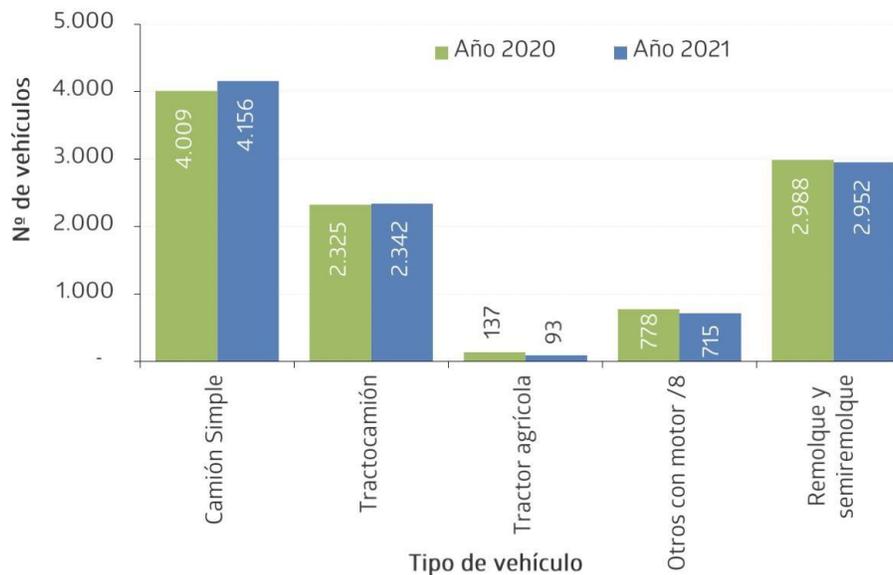
A.1.2 Camiones de transporte

En el caso de los camiones medianos y pesados de ruta, estos se dividen en tres categorías: Camiones de transporte mineral, camiones de transporte de Cal y ácido sulfhídrico (H₂S) y camiones de uso general. A continuación, se presentan los aspectos considerados para la estimación de la demanda:

- Para los camiones de transporte de producto minero, que transportan concentrado, cátodos, óxidos y sulfuros de cobre y pre-concentrados de hierro, se consideró su uso en los siguientes proyectos mineros:
 1. Los Colorados: en este proyecto se transporta mineral a razón de 360 camiones al día de pre-concentrado hasta las distintas faenas de CAP , y se considera que se envían a la planta de magnetita ubicada en Tierra Amarilla (Ref. [A.3]).
 2. Dos Amigos: en este proyecto se transportan sulfatos de cobre (200 t/mes) y cátodos (10.000 t/año), se considera que se envían hacia la Fundición Paipote (Ref. [A.9]).
 3. Planta Vallenar (ENAMI): en este proyecto se transportan cátodos (2800 t/año) y concentrado de cobre (12696 t/año) hacia fundición Paipote (Ref. [A.14] y [A.15]).
 4. Cerro Blanco: no existe claridad sobre el destino final potencial de los materiales producidos, por lo que su eventual flota de camiones será omitida.
 5. Nueva Unión: ésta está proyectada para movilizar su producto mediante correas transportadoras aéreas, por lo que no utilizaría camiones de transporte pesado para este efecto. Se considera que la tasa de adopción de tecnologías de hidrógeno para estos actores estará en línea con la de los camiones CAEX, es decir, un 30% de adopción hacia 2030 y un 100% a 2050.
- Para el transporte de cal y ácido sulfhídrico, se utiliza como información base aquella disponible en el Proyecto “Transporte terrestre de Sustancias corrosivas en la Región de Atacama” (Ref. [A.16]), considerando los tramos allí declarados, así como las distancias a recorrer estimadas. Dentro de esta información, se encuentra como escenario máximo de tránsito el recorrer 27.792.720 kilómetros al año para transporte de estas materias.
- Para el caso de camiones de transporte pesado, se asume como base un camión equivalente a un Volvo FMX 500 8x4, con una potencia de motor aproximada de 500 HP (350 kW) (Ref. [A.17]) y capacidad de 30 toneladas cortas. En este caso, las tasas de adopción de tecnologías de hidrógeno se consideran más bajas que para las mineras, en particular, un 10% hacia 2030 y un 40% hacia 2050, puesto que generalmente las empresas de transporte tienen menor acceso a financiamiento para hacer inversiones de carácter estratégico, a diferencia de las compañías mineras.
- Por ello, las tasas de adopción de tecnologías de hidrógeno se consideran más bajas que para las mineras, un 10% hacia 2030 y un 40% hacia 2050. Lo anterior basado en que, a

pesar de que las empresas de transporte tienen acceso a contratos marco, tienen menor acceso a financiamiento para hacer inversiones de carácter estratégico, a diferencia de las compañías mineras.

- Para el caso de camiones de transporte para carga, se utilizaron datos extraídos del parque vehicular de la Región de Atacama (Ref. [A.18]), donde se distinguen tres categorías: Tractocamiones, remolques y semirremolques, y camiones simples. Se contabilizan sólo los tractocamiones y los camiones simples, puesto que los remolques y semirremolques no poseen motor. Dentro de estas categorías, sólo se contabilizan aquellos vehículos correspondientes a las comunas de interés, es decir, Huasco, Vallenar, Freirina y Alto del Carmen.



Fuente: Ref. [A.18]

Figura A-5 Parque vehicular de carga pesada en la región de Atacama. Valores totales

Tabla A-4 vehículos de carga según comuna de interés

Comuna	Huasco	Freirina	Vallenar	Alto del Carmen	Total
Camión Simple	250	68	597	255	1170
Tractocamión	937	18	106	337	1398

Fuente: Elaboración propia

- Se utilizó como modelo base para tractocamiones un Freightliner M2 112 con motor de 410[HP] y para camión de transporte simple se asumió un Iveco - Trakker - ML 120 E con motor de 250[HP].

Con respecto a la distancia promedio recorrida anualmente por camión, el estudio “Actualización de Modelo de Costos de Transporte de Carga para el Análisis de Costos Logísticos, del Observatorio Logístico” realizado para la Subsecretaría de Transporte (Ref. [A.19]) indica un promedio a nivel nacional de 100.000 [km/año]. Por ello, se consideran 80.000[km/año] como distancia promedio recorrida por camión.

- Para obtener el consumo de hidrógeno de estos camiones se aplica la siguiente fórmula:

$$H_2 \left[\frac{kg_{H_2}}{km} \right] = \frac{LHV_{diesel} \left[\frac{MJ}{l_{diesel}} \right]}{Q \left[\frac{km}{l_{diesel}} \right]} \eta_{freno} \frac{1}{LHV_{H_2} \left[\frac{MJ}{kg_{H_2}} \right] \eta_{celda}}$$

Donde el poder calorífico inferior (LHV⁴) del diésel se estima en 35.94 [MJ/l], la eficiencia al freno del tren motriz se estima en 44% como mejor caso, la eficiencia de la celda se estima en 55% y los consumos de combustible se estiman en 2.3[km/l] para tractocamiones y en 5.4[km/l] para camiones simples (Ref. [A.18]).

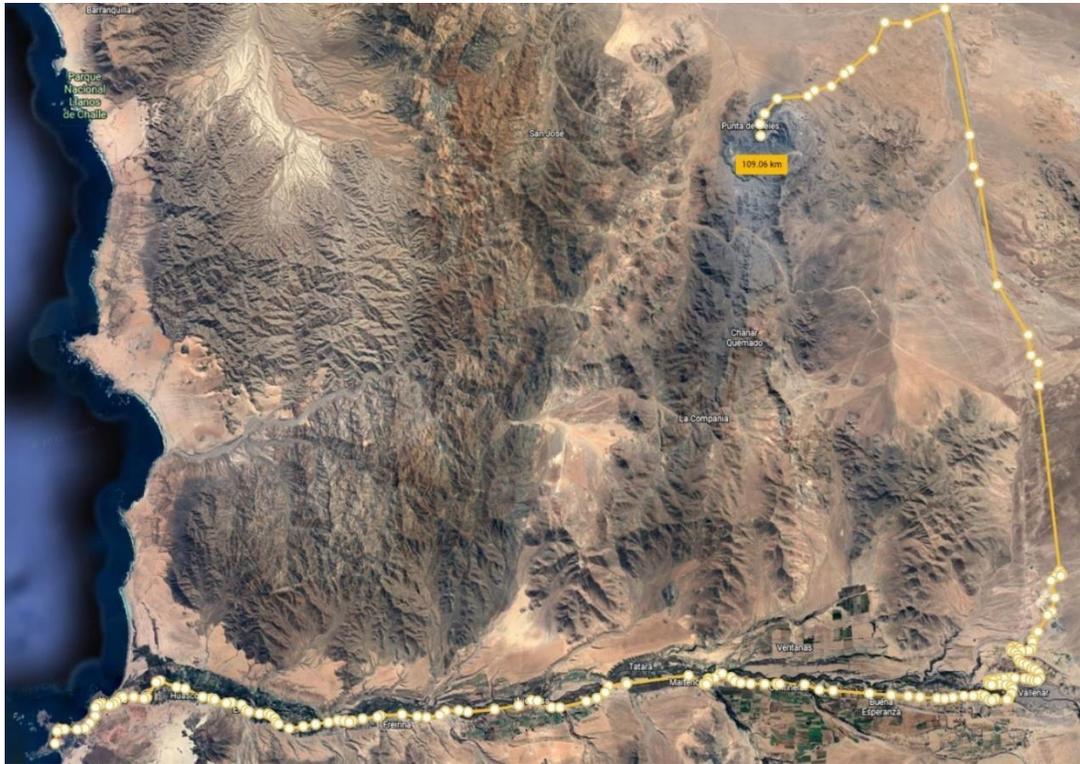
- Se estima que este sector recibirá menores incentivos que la minería para su reconversión, por lo que las tasas de adopción de este sector se asumen menores, un 5% a 2030, hasta un 30% a 2050.

A.1.3 Ferrocarril

En el caso del ferrocarril Ferronor se consideró únicamente la ruta que este realiza en el área de estudio, la cual comprende desde la punta de rieles en mina Los Colorados hasta la Planta de Pellets en Huasco. Ferronor posee trenes de distinta potencia, sin embargo, se estima que el tren, que realiza 11 viajes diarios (Ref. [A.19]) transportando material hacia la planta de pellets de la Compañía Minera del Pacífico (CMP), es un *Progress Rail EMD GT46AC*, entregado a Ferronor el año 2013, el cual tiene una potencia de 4600 HP (Ref. [A.20]). Se estima como caso de consumo conservador, que dicho tren podría ser reconvertido a operación con Hidrógeno mediante combustión dual Diesel-Hidrógeno hacia el 2030 en su motor EMD710, con miras a una transición a 100% hidrógeno hacia 2050.

La ruta indicada (Figura A-6) tiene un largo de 109 [km] aproximadamente. El consumo promedio de la locomotora mencionada se estima al extrapolar consumos de locomotoras conocidas cargadas de 1400 y 2600[HP], que son 5 y 7 [l/km] respectivamente (Ref. [A.21]). Además, se considera una eficiencia total de tren motriz de un 40%, con lo cual se puede calcular el consumo hipotético de un tren con conversión a hidrógeno.

⁴ Por sus siglas en inglés, Lower Heating Value (LHV)



Fuente: Ref. [A.22]

Figura A-6 Ruta seguida por ferrocarril, con largo total por tramo de 109 [km]

Sectores no considerados

Dada la naturaleza conceptual del presente estudio, el enfoque está puesto en aquellos sectores locales que se estima tienen mayor probabilidad de consolidarse como consumidores de hidrógeno, así como aquellos cuyo consumo pueda ser de mayor impacto para la matriz energética de la zona analizada.

En particular, las demandas relacionadas con el transporte de personal desde y hacia faenas mineras, así como el transporte y consumo privado se excluyen del análisis realizado, puesto que:

- I. Los tramos a recorrer por el transporte de personal son en general cortos, debido a que los centros productivos se encuentran relativamente cerca de los poblados, a menos de 150 km.
- II. Mina Los Colorados, sujeto de estudio en el presente informe, posee un piloto en curso de transporte de personal mediante buses eléctricos a batería (Ref. [A.23]).
- III. Durante el período de vida de la planta desalinizadora, se espera que las iniciativas de electromovilidad tengan el efecto de transformar a los vehículos

eléctricos a baterías en el medio de transporte dominante frente a vehículos convencionales de combustión. Lo anterior también se encuentra en línea con la Estrategia de Electromovilidad del Estado de Chile (Ref. [A.2]), que busca que todo bus y taxi sea eléctrico para el año 2040.

Se excluye también de este análisis la inyección de gas a redes, dado que a la fecha la distribución de gas en las comunas de Huasco, Vallenar, Freirina y Alto del Carmen se hace mediante cilindros de GLP. Dado esto, se estima que, si no ha habido inversión para redes terciarias de distribución de Gas Natural a la fecha, no es evidente que exista un interés real por parte de las compañías distribuidoras de construir nuevas redes de distribución de hidrógeno puro para las comunas del valle del Huasco en el mediano plazo. Esto a diferencia de la infraestructura existente, ubicada en comunas con mayor población, donde existe un interés real para *blending* de hidrógeno en las redes de distribución terciaria existentes en el corto/mediano plazo.

Finalmente, se excluyen de este análisis los consumos de agua asociados a la generación de Hidrógeno y Amoníaco Verde, para exportación de estos, dado que dichos volúmenes de producción dependerán fuertemente caso a caso de los modelos de negocios que pretendan realizar las compañías individuales. La eventual inclusión de estos actores significaría una potencial distorsión importante en los resultados que se buscan reflejar en el presente estudio, y por tanto quedan fuera del alcance de este estudio.

A.1.4 Resumen demanda de hidrógeno

En base a las consideraciones presentadas previamente, los principales consumidores de hidrógeno (H₂), aquellos que van a ser las fuerzas motrices de demanda y objeto de mayor inversión tanto privada como estatal, serán aquellos ligados al transporte pesado de cargas. En estos sectores el hidrógeno ofrece una mayor autonomía y tiempos de recarga bajos, lo que le da una ventaja competitiva por vía de la disponibilidad de los vehículos. Asimismo, se considera que los sectores de menor rango de kilómetros y donde los tiempos de carga puedan ser mayores, serán dominados por vehículos eléctricos con baterías.

La Tabla A-5 presenta la demanda de hidrógeno anual para cada una de las aplicaciones consideradas.

Tabla A-5 Demanda anual de hidrógeno para camiones de extracción (CAEX)

Camiones de Extracción (CAEX)			
Mina Los Colorados	Cantidad de mineral bruto extraído anualmente	84.000.000	Ton/año
	Cantidad de Camiones CAEX	16 8	CAEX 240 [tc] CAEX 200[tc]
	Consumo de H2	2.374 7.914	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
	Cantidad de mineral bruto extraído anualmente	87.600.000	Ton/año

Camiones de Extracción (CAEX)			
Mina Nueva Unión	Cantidad estimada de Camiones CAEX	17 8	CAEX 240 [tc] CAEX 200[tc]
	Consumo de H2	2.599 8.662	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
Mina Cerro Blanco	Cantidad de mineral bruto extraído anualmente	11.000.000	Ton/año
	Cantidad estimada de Camiones CAEX	13	CAEX 100 [tc]
	Consumo de H2	753 2.510	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
Mina Dos Amigos	Cantidad de mineral bruto extraído anualmente	9.600.000	Ton/año
	Cantidad de Camiones CAEX	12	CAEX 100 [tc]
	Consumo de H2	695 2.317	tH2/año al 2030 t H2/año al 2050

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-6 Demanda anual de hidrógeno para camiones de transporte

Camiones de Transporte			
Mina Los Colorados	Distancia ida y vuelta	266	km
	Consumo de H2	1.085 3.617	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
Planta Dos Amigos	Toneladas a mover	12.400,0	Ton
	Cantidad de Viajes	414,0	unidad
	Distancia a Paipote ida y vuelta	420	km
	Consumo de H2	5 18	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
Planta Vallendar	Toneladas a mover	15.496,0	Ton
	Cantidad de Viajes	517,0	unidad
	Distancia a Paipote ida y vuelta	296,0	km
	Consumo de H2	5 18	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
Transporte de ácido sulfhídrico y cal	Distancia anual recorrida	27.792.720,0	km
	Consumo de H2	288 1.150	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
Transporte General de Carga	Cantidad camiones simples	1170	Unidades
	Cantidad Tractocamiones	1398	Unidades
	Distancia recorrida	80.000,0	km/año-camion
	Consumo de H2	785 4.708	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A-7 Demanda anual de hidrógeno para ferrocarril Ferronor

Ferrocarril		
Largo de Viaje ida y vuelta	219.2	km
Consumo de H ₂	1.189 1.981	tH ₂ /año al 2030 tH ₂ /año al 2050

Fuente: Elaboración propia.

En base a los consumos señalados, en la Tabla A-8 se presenta el resumen de estos y el consumo total de hidrógeno. En la Figura A-7 se comparan los consumos de cada equipo y usuario a 2030 y en la Figura A-8 se ve la comparativa hacia el 2050.

Tabla A-8 Demanda anual de hidrógeno total

Resumen de Consumos de hidrógeno		
Camiones de Extracción (CAEX)	6.421 21.403	tH ₂ /año al 2030 tH ₂ /año al 2050
Camiones de transporte	1.880 8.358	tH ₂ /año al 2030 tH ₂ /año al 2050
Ferrocarril	1.189 1.981	tH ₂ /año al 2030 tH ₂ /año al 2050
Total	9.489 31.743	tH₂/año al 2030 tH₂/año al 2050

Fuente: Elaboración propia.

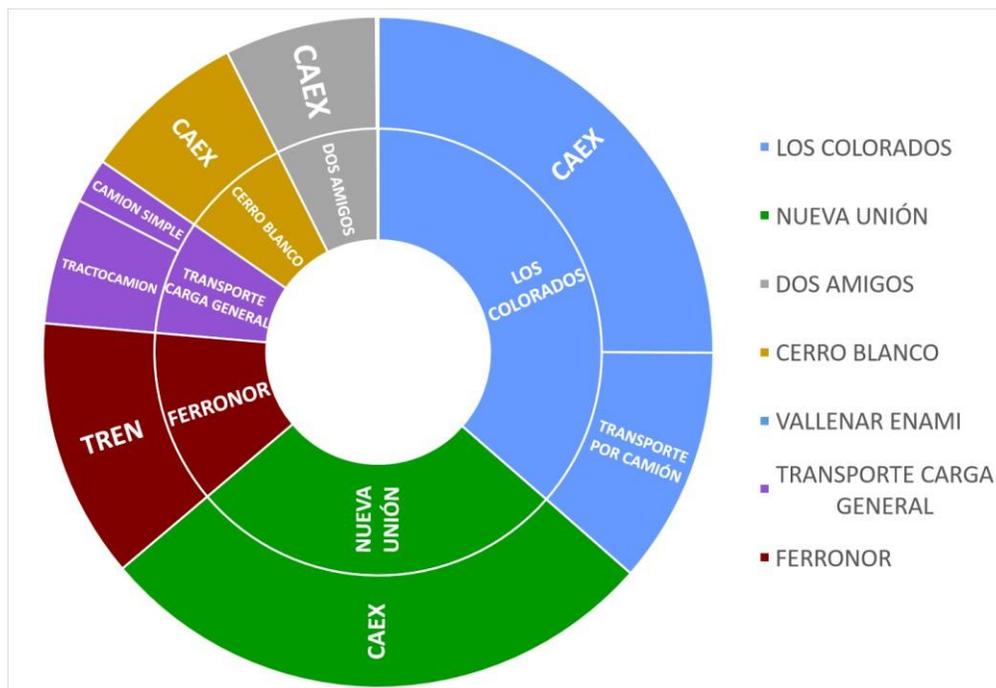
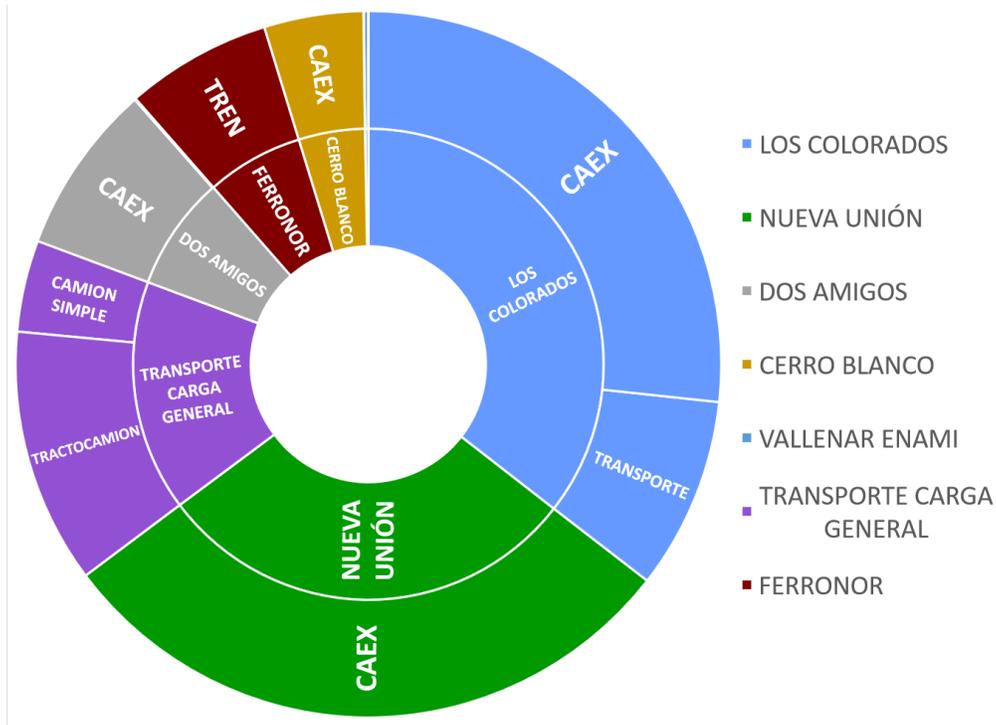


Figura A-7 Demanda anual de hidrógeno total 2030



Fuente: Elaboración propia.

Figura A-8 Demanda anual de hidrógeno total 2050

Cabe mencionar que parte de los datos no alcanzan a ser representados en las figuras precedentes, debido a su baja cantidad anual requerida.

De lo gráficos se puede ver como saliente el incremento de la fracción de participación del transporte de carga como consumidor de Hidrógeno potencial hacia el 2050. No obstante, lo anterior, se vuelve evidente que gran parte del consumo estimado dependerá de la concreción de la mina Nueva Unión y de la continuidad operacional del sector minero en general en la zona.

A.2 Demanda de agua para la producción de hidrógeno

En base a la demanda total de hidrógeno, se calculó la demanda de agua requerida, considerando el consumo de agua por electrolizador, y que el agua proveniente de la planta desaladora requerirá un pretratamiento, cuya eficiencia es de 80%, para alcanzar la calidad requerida por el proceso de electrólisis. Además, se estima un sobredimensionamiento del 10% del consumo de agua considerado consumos fortuitos por proyectos no considerados o potenciales pérdidas que se puedan producir a lo largo del tiempo.

Tabla A-9 Demanda de agua para producción de hidrógeno

Demanda de agua		
Demanda total de H2	9.489 31.743	tH2/año al 2030 tH2/año al 2050
Consumo de agua por Electrolizador	1	L/Nm ³ H ₂ [1]

Densidad H2	0,09	kg/Nm3
Consumo de agua por Electrolizador	11	L/kgH2 [2]
Eficiencia Pretratamiento de Agua para Electrolizador	80%	% [3]
Demanda de agua	130.637 435.456	m3/año al 2030 m3/año al 2050
	4,2 14,0	L/s al 2030 L/s al 2050
Margen	10	%
Demanda total de agua proyectada	4,6 15,4	L/s al 2030 L/s al 2050

Nota:^[1] Ref. [A.10]

^[2] Considera agua ya apta para ingreso a los electrolizadores.

^[3] Se estima que sólo se requiere un pulido posterior, a diferencia del tratamiento a aguas naturales o potables, cuyo tratamiento para su uso en electrolizadores tiene mermas mucho más considerables.

Fuente: Elaboración Propia.

Referencias

- [A.1] Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Informe del Estado del Medio Ambiente - Capítulo 3: Género y Medio Ambiente. Obtenido de Sistema Nacional de Información Ambiental*: <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/3-genero-y-medio-ambiente.pdf>;
- [A.2] Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (2020);
- [A.3] Plan Estratégico Modificación Plan Minero Mina Los Colorados, Compañía Minera del Pacífico S.A. (2020);
- [A.4] Continuidad Operacional Mina Dos Amigos, Compañía Explotadora De Minas SpA (2019);
- [A.5] Proyecto Cerro Blanco, SCM White Mountain Titanium (2013);
- [A.6] Teck (2023). Proyecto Nueva Unión. <https://www.teck.com/operations-es/chile-es/proyectos-es/nuevaunion-es/>;
- [A.7] Komatsu (2023). Electric drive mining trucks - 730E-10. <https://www.komatsu.com/products/trucks/electric-drive-mining-trucks/730e-10/>;
- [A.8] Komatsu (2023). Electric drive mining trucks - 830E-5. <https://www.komatsu.com/products/trucks/electric-drive-mining-trucks/830e-5/>;
- [A.9] Declaración de Impacto Ambiental - Reinicio Operacional Planta Dos Amigos (2018);
- [A.10] Mantto Maquinaria. Mantenimiento maquinaria pesada - ¿Qué es el Rimpull?. <http://manttomaquinaria.blogspot.com/2017/04/que-es-el-rimpull.html>;
- [A.11] [Google Earth](#) Version 9.180.0.0 (18 de Abril 2021), Huasco Chile. 28°17'32"S 70°47'54"W. Altitud de cámara 4140[m]. Maxar Technologies CNES/Airbus;
- [A.12] Tannant, D., & Regensburg, B. (2001). Guidelines for mine haul road design;
- [A.13] Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2016 -2025;
- [A.14] Normalización Continuidad Operacional – Planta Vallenar, Empresa Nacional de Minería (ENAMI) (2018);
- [A.15] Memoria Anual 2021;
- [A.16] Proyecto “Transporte terrestre de Sustancias corrosivas en la Región de Atacama” Ingresado el 20 de Noviembre de 2015;
- [A.17] Datasheet:<https://www.volvotrucks.com.ar/content/dam/volvo-trucks/markets/argentina/fichas-técnicas-volvo-fmx/Nuevo%20FMX%208x4R.pdf> verificado el 20-01-2023;

- [A.18] Estadísticas de Parque Vehicular, Región de Atacama, Instituto Nacional de Estadísticas;
- [A.19] “Actualización de Modelo de Costos de Transporte de Carga para el Análisis de Costos Logísticos, del Observatorio Logístico”;
- [A.20] <https://www.progressrail.com/en/Company/News/PressReleases/EMDtoDeliver6GT46ACLocomotives.html> verificado el 17-01-2023;
- [A.21] Estudio “Análisis de costos y competitividad de modos de transporte terrestre de carga interurbana”, 2011;
- [A.22] Google Earth Version 9.180.0.0, Región de Atacama Chile. 28°29'12"S 70°53'59"W. Altitud de cámara 67[km]. Maxar Technologies CNES/Airbus DATA SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO, Airbus;
- [A.23] <https://www.cmp.cl/implementamos-nuestros-primeros-buses-electricos-en-el-valle-del-huasco/> verificado el 17-01-2023;
- [A.24] Atacama Hydrogen Hub. Supply & Demand Projections. <https://atacamahydrogenhub.com/supply-and-demand/#supply>.