# Resumen ejecutivo

## Bus a celda de combustible para una ruta minera

Análisis sobre la oferta actual del mercado de autobuses a celda de combustible y simulación del funcionamiento de la tecnología para una ruta minera chilena bajo condiciones extremas de gran altitud y pendiente.

**Análisis de la capacidad técnica de los buses a celda de combustible para el recorrido entre diferentes alturas geográficas**

30 JUL 2021

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

# Resumen ejecutivo

Como en muchas partes del mundo, también en Chile el uso del hidrógeno verde se considera un elemento clave para la descarbonización del suministro energético del país.

Dado que los proyectos de hidrógeno están en vías de despegar en Chile y podrían desempeñar un papel importante para alcanzar los objetivos de las NDC, los actores están buscando aplicaciones tempranas adecuadas para lo cual resulta necesario que se cumplan los siguientes criterios:

- Viabilidad desde el punto de vista de la disponibilidad de la tecnología.

- Viabilidad financiera a medio y largo plazo.

- Actores fuertes y comprometidos para salvaguardar la transición de los primeros proyectos piloto a casos comerciales.

Este análisis proporciona la base para los próximos pasos hacia la implementación de un proyecto piloto de bus a celda de combustible (FCEB por sus siglas en inglés) en una ruta minera chilena. Para iniciar el análisis, se eligió como base la ruta de 180 km entre Antofagasta y Minera Escondida, pero puede utilizarse como modelo para otras rutas con condiciones comparables que puedan ser atendidas por FCEB. Esta ruta ofrecía un buen punto de partida para las conversaciones con los posibles proveedores de buses con la tecnología mencionada con el fin de superar retos como la longitud de la ruta, gran altitud, altas pendientes, carreteras resbaladizas y condiciones ambientales extremas.

El estudio arrojó que, debido al limitado tamaño del mercado para este nicho de aplicación específico, se necesita un mejor conocimiento de las diversas rutas mineras, las capacidades de transporte requeridas y cómo estos elementos influyen en la especificación del vehículo, para evaluar los esfuerzos de desarrollo y producción de un bus *ad hoc* en comparación con el volumen de mercado esperado.

Duante el estudio se contactaron 17 posibles fabricantes de FCEB, pero muchos de ellos declinaron participar debido a varias razones. Entre las que se pueden mencionar indicaron que se están centrando en otras regiones del mundo o que no realizan actividades en el ámbito solicitado. Lo que si quedó claro es que ninguno de los fabricantes de

FCEB contactados y analizados tiene una solución específica para operar en la ruta analizada. No obstante lo anterior, de los 17 fabricantes hubo 5 de ellos que mostraron gran interés en participar en un proyecto piloto o posible proceso de desarrollo posterior a este estudio.

Por otra parte, es posible mencionar que no resulta problemático recibir especificaciones generales de los FCEB disponibles en el mercado por parte de las empresas que ya tienen alguna oferta en su cartera, pero discutir enfoques o soluciones técnicas particulares sin firmar un NDA es comprensiblemente difícil, ya que, por supuesto, los fabricantes quieren sacar provecho de sus conocimientos técnicos.

En particular, las respuestas de los posibles fabricantes de FCEB muestran que no existe ninguna experiencia en el mundo real sobre el funcionamiento de este tipo de vehículos en alturas como la presente en la ruta analizada (3.500 m.s.n.m.) y, por lo tanto, todavía no está claro y depende de la demanda si estos buses estarán disponibles comercialmente y cuándo.

Por el momento, y de acuerdo con los comentarios de los fabricantes, el suministro de FCEB a corto plazo se limitaría a una altitud máxima de funcionamiento de unos 2.500 m.s.n.m. Por ello en este estudio se realizó una simulación del funcionamiento de un bus a la altura especificada en la ruta seleccionada.

De esta manera y sobre la base de ciertos datos levantados acerca de la ruta y sus condiciones de altitud, gradiente, longitud y límites de velocidad, se realizó la simulación mencionada entregando como resultado un consumo medio de hidrógeno de unos **14,5 kg H2/100 km para la tracción en subida**.

Próximos pasos recomendados:

(1) Antes de entrar en un proyecto piloto, se recomienda realizar un análisis específico del potencial del mercado para la aplicación paritcular de la ruta analizada, ya que es necesario tanto para atraer a los fabricantes de FCEB como para definir las especificaciones de este tipo de máquinas y así encontrar el equilibrio entre un excesivo diseño en el bus y un mercado demasiado pequeño.

(2) Para el desarrollo de un proyecto piloto, se recomienda establecer un consorcio que incluya al menos una empresa minera o un operador de buses de flotas mineras, ya que son los actores primordiales en una iniciativa de este tipo.

La mayoría de los fabricantes de FCEB se están beneficiando del dinamismo actual en el área del hidrógeno y las celdas de combustible y, por tanto, este campo de aplicación específico no se está desarrollando por sí mismo, sino que necesita un compromiso real por parte de las partes interesadas. Por el momento, este nicho específico parece ser más atractivo para las start up's y para los actores globales, ya que quieren cubrir casi todas las aplicaciones potenciales. Los objetivos del consorcio no sólo deberían incluir la implementación de un proyecto piloto, sino que también deberían centrarse aún más en la implementación exitosa de FCEB en Chile, incluyendo la infraestructura de hidrógeno necesaria, teniendo en cuenta también un reparto justo de riesgos entre los socios.

Por último, todos los elementos necesarios para avanzar en el campo de FCEB a grandes alturas están identificados: demanda por buses y el interés de los actores. Sin embargo, es demasiado pronto para iniciar inmediata y directamente un proyecto piloto, ya que es necesario desarrollar por adelantado una sólida especificación del vehículo para poder solicitar ofertas fiables y comparables. Por lo tanto, se recomienda iniciar un proyecto piloto sólo después de la finalización con éxito de los pasos (1) y (2) para este tipo específico de FCEB capaces de dar servicio a esas rutas exigentes.

No obstante lo anterio, con el fin de reunir las primeras experiencias del mundo real, especialmente en lo que respecta a la infraestructura de repostaje de hidrógeno, **podría ser útil iniciar un proyecto piloto con FCEB ya disponibles en el mercado** para dar servicio a rutas y condiciones menos difíciles. De este modo, las partes interesadas se familiarizarían con los distintos componentes de la cadena de valor y, en el mejor de los casos, se podría establecer un primer mercado para los FCEB y la correspondiente infraestructura de hidrógeno en Chile.

**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:**
Descarbonización del Sector Energía en Chile

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

**Responsable:**
Rainer Schröer

**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, ISBN 978-956-8066-36-9. Primera edición digital: Agosto de 2021

**Cita:**

Título: Analysis of the technical capacity of fuel cell buses for route between different geographical heights
Autor(es): Dr. Uwe Albrecht, Hubert Landinger, Prof. Dr. Ralph Pütz, Fernanda Durán Sievers, Reinhold Wurster, GIZ
Edición: Hubert Landinger, Pablo Tello.
Santiago de Chile, Munich, 2021.
51 páginas
Energy – Fuel Cell – Buses – Hydrogen – Chile

**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.
El personal de LBST, Belicon e ILF ha elaborado este informe.
Las opiniones y conclusiones expresadas en este documento son las del personal de LBST, Belicon e ILF. LBST, Belicon ni ILF, ni ninguno de sus empleados, contratistas o subcontratistas, ofrecen ninguna garantía, expresa o implícita, ni asumen ninguna responsabilidad legal por la exactitud, integridad o utilidad de cualquier información, producto o proceso adjunto, ni afirman que su uso no infrinja los derechos de propiedad privada.

**Santiago de Chile, 18 de agosto de 2021**

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:
Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear
de la República Federal de Alemania

Ministerio de Energía
Gobierno de Chile