

# APLICACIONES DE SISTEMAS DE COMBUSTIÓN DUAL HIDRÓGENO-DIÉSEL



Conferencia internacional  
Hidrógeno con Energías Renovables,  
nuevas oportunidades para Chile



Fernando Hentschel M.  
Director de Desarrollo Tecnológico  
10 de Mayo de 2017



Gobierno de Chile

gob.cl

# Vision 2025



Chile: principal proveedor de litio y cobre de baja emisión para la industria de autos eléctricos



Principal productor mundial de Litio



Principal productor mundial de cobre de baja emisión

Abastecimiento seguro de Carbonato e Hidróxido de Litio grado batería

Otros productos de litio con valor agregado

Abastecimiento de electricidad con energía solar continua (mix PV/CSP) a precio promedio de 50 USD/MWh

Sustitución de combustibles fósiles por Hidrógeno y otros combustibles sintéticos con enfoque de Economía Circular



## Contexto Minero

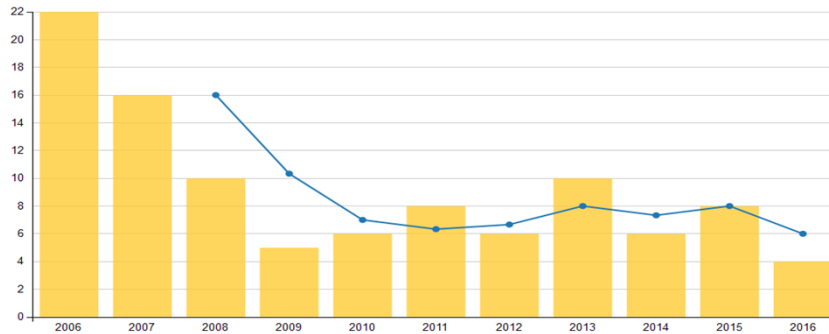
- El consumo energético total en la minería del cobre aumentó de 86.234 a 163.063 Terajoules **en el periodo 2001 – 2015, incrementando en 89%**.
- Los **combustibles aumentan en un 100% y la electricidad en un 80%**, en tanto la producción de cobre fino aumentó un 21,6%.
- Dentro del mix de combustibles usados en la minería del cobre, **el más importante es el diésel**. Es así como en el año **2001 representaba un 63%** del total de energía como combustibles utilizada y en el **año 2015, el 88%**.

La energía eléctrica solar a costo bajo es el **componente económico habilitante para producir combustible competitivo de hidrógeno mediante un proceso electrolítico**.



## Desarrollo Mundial de H2ICE

Existen múltiples experiencias respecto de la factibilidad del uso de hidrógeno como combustible directo en motores duales diésel-H<sub>2</sub>.



Se identificaron **101 patentes** en los últimos 10 años. **68 empresas, universidades y centros de I+D** a nivel mundial que desarrollan la tecnología

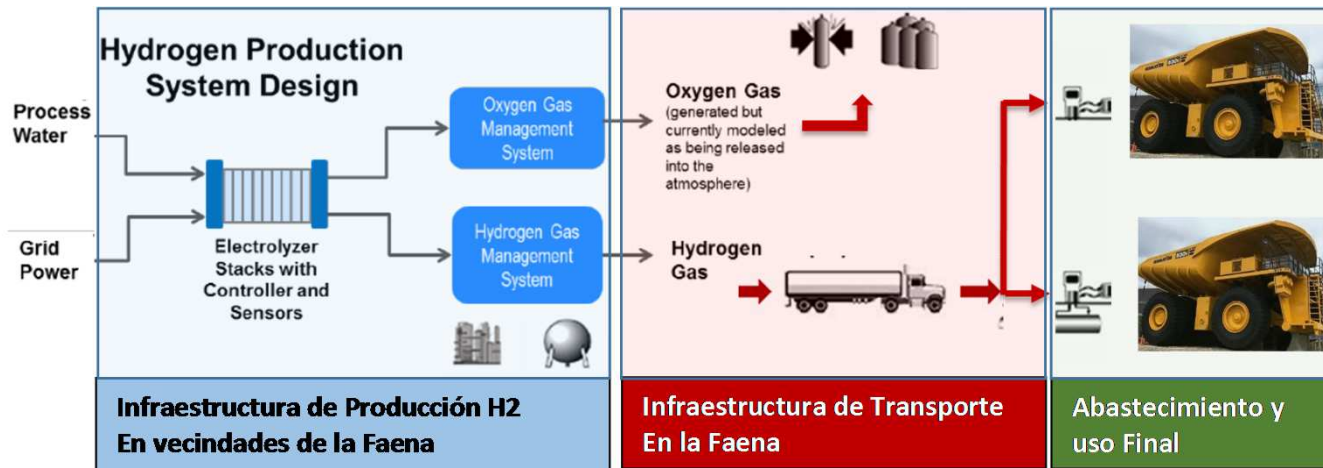
**El abastecimiento de combustible a precio fijo es un cambio de paradigma y reducción de:**

costos financieros, costos por seguros de estabilización de precio y incertidumbre en flujos de caja, huella de carbono del producto final.

1 kg H<sub>2</sub> = 3 lts de Diesel eq = 9 kg CO<sub>2</sub> eq aprox

## Caso de Estudio

Sustitución de un 50% de diésel por H<sub>2</sub> proveniente de energías renovables, para abastecer 100 CAEX en Norte de Chile.



### Variables clave:

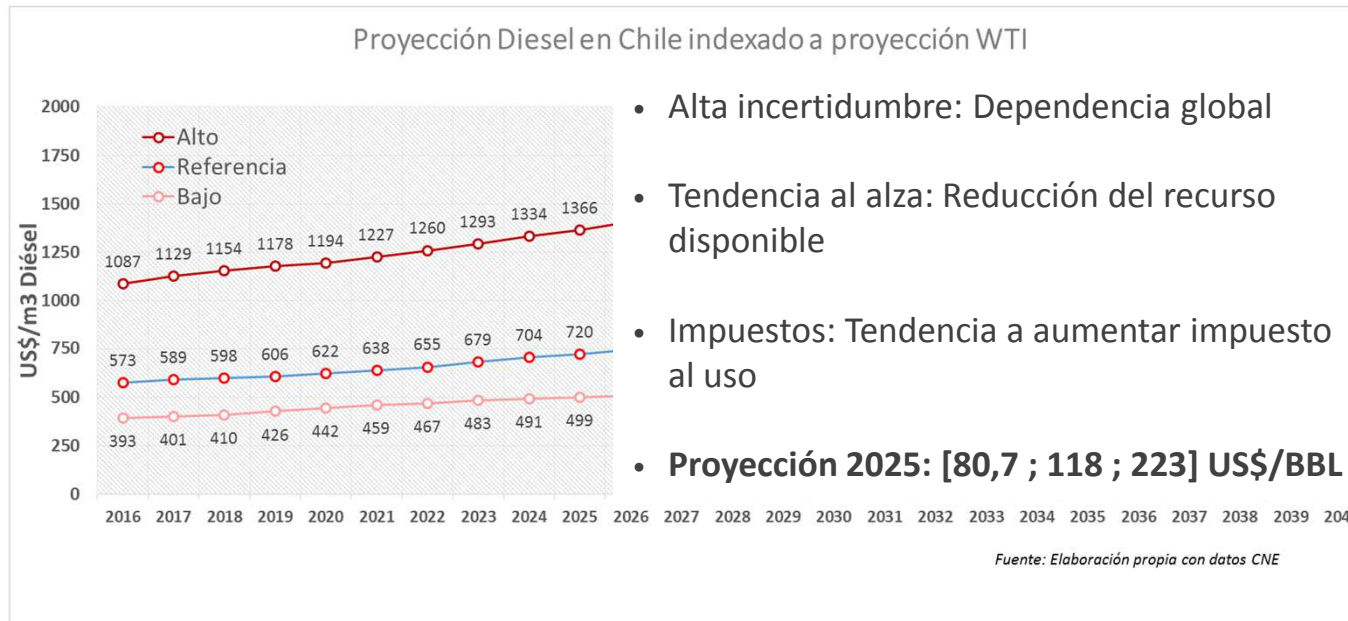
- CAPEX
- Energía
- Agua

### Variables clave:

- CAPEX
- OPEX (distribución)

# Meta: Precio de H2 competitivo con diésel

¿Cuál es el precio de H2 que Viabiliza la sustitución de un 60% del diésel



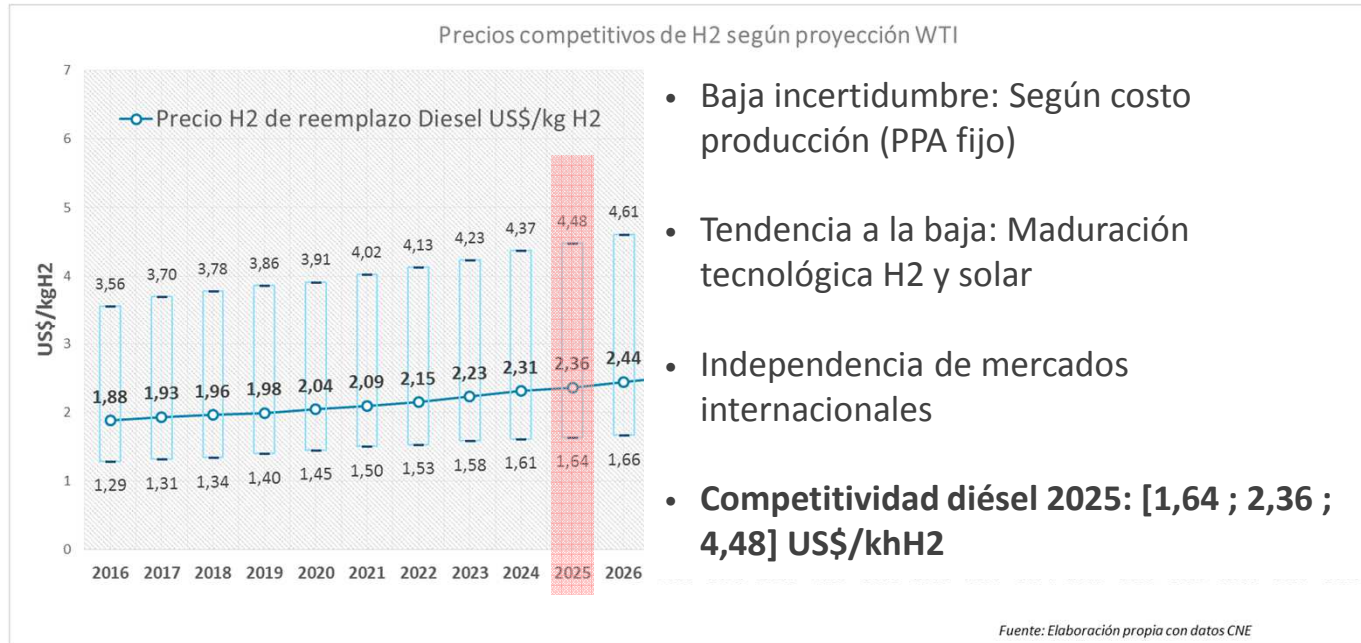
Equivalencia energética del diésel por kg de Hidrógeno

$$E_{kgH_2} = 0,0033 \cdot E_{m^3Diésel}$$

$$\text{Meta: } \$_{kgH_2} = 0,0033 \cdot \$_{m^3Diésel}$$

Fuente: DOE

## Meta: Precio de H2 competitivo con diésel



En principio el Precio por kg de H<sub>2</sub> competitivo con diésel, según la proyección de precios hasta el 2025 esta entre:

**2,2 – 2,6 USD/kgH<sub>2</sub>**

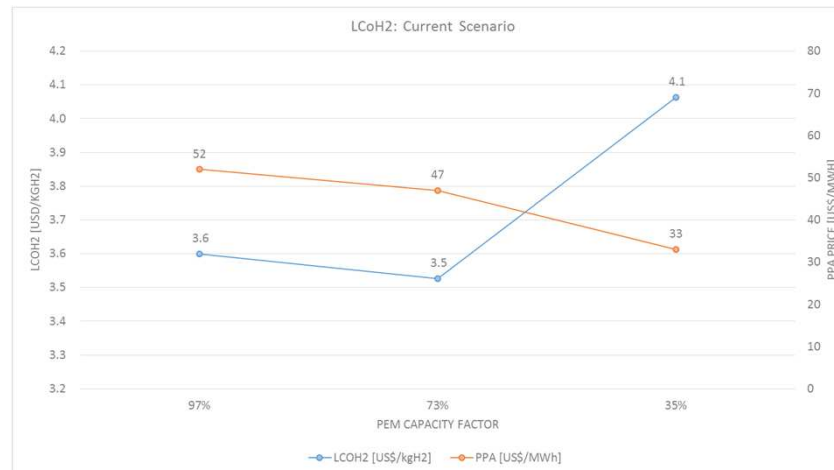
Fuente: Elaboración Propia

# FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE PRODUCCIÓN



Caso actual: promedios					
Producción kg H2/día	capacidad nominal [kg H2/día]	factor de planta [%]	Inversión total [MMUS\$]	PPA [US\$/MWh]	LCOH2 actual [US\$/kgH2]
60,000	61,856	97%	100,829,258	52	3.6
	82,192	73%	133,978,245	47	3.5
	171,429	35%	279,439,595	33	4.1

- El precio de producción es competitivo con diésel en escenarios de precios de diésel alto.
- El sobredimensionamiento es más eficiente si se logra capturar precios más económicos de energía para la producción de H2.
- El sobredimensionamiento para producir H2 sólo en horarios solares no es eficiente dado que el aporte del CAPEX al costo de producción aumenta significativamente.



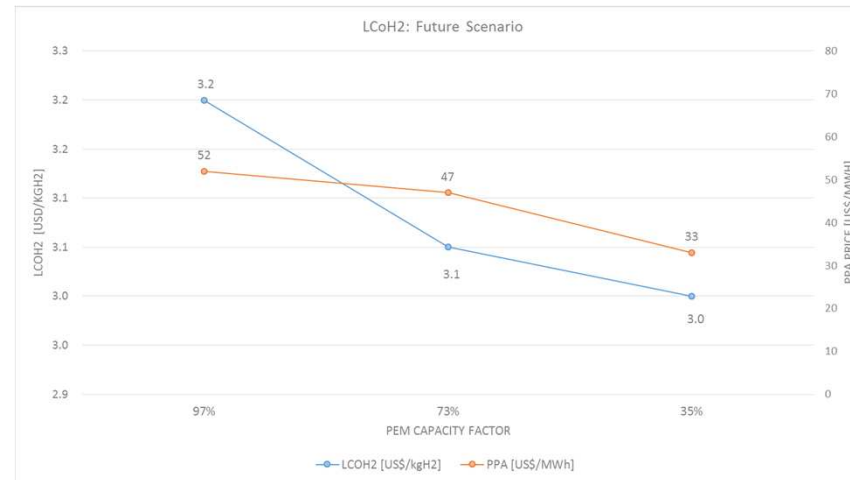


# Factibilidad económica de producción



Caso futuro: promedios					
Producción kg H2/día	capacidad nominal [kg H2/día]	factor de planta [%]	Inversión total [MMUS\$]	PPA [US\$/MWh]	LCOH2 futuro [US\$/kgH2]
60,000	61,856	97%	50,348,381	52	3.2
	82,192	73%	66,901,095	47	3.1
	171,429	35%	139,536,197	33	3.0

- El precio de producción es competitivo con diésel en escenarios de precios de diésel medio.
- Dado que en el “caso futuro” se considera una reducción de CAPEX y un aumento en la eficiencia del consumo eléctrico del proceso, el sobredimensionamiento es siempre más eficiente si se logra capturar precios más económicos de energía para la producción de H2.
- El sobredimensionamiento para producir H2 sólo en horarios solares se transforma en eficiente dado que el aporte del CAPEX al costo de producción no compensa el ahorro producido por el “PPA solar”.

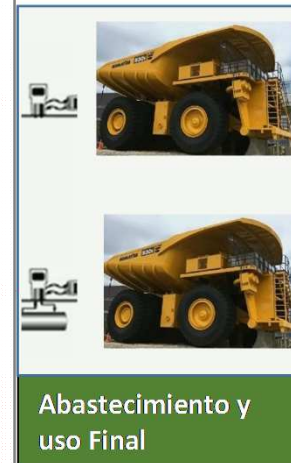


## Próximo Programa Tecnológico de CORFO

El objetivo general del Programa es **la industrialización de soluciones tecnológicas** que viabilicen la transformación de la operación convencional de los camiones de extracción (CAEX) basada en diésel, **hacia una operación basada en combustión interna dual de mezclas de Hidrógeno (H2) y diésel**, mediante la adopción, adaptación y/o desarrollo tecnológico, con especial atención al desarrollo de capacidades en Chile.

### El Desafío de Adaptación de motores a combustión dual H2-Diésel a camiones de Extracción:

- Prototipaje a escala CAEX Industrial
- Protocolos de seguridad
- Pilotaje en condiciones de operación real
- Empaquetamiento tecnológico
- Estrategia de implementación y adopción



# APLICACIONES DE SISTEMAS DE COMBUSTIÓN DUAL HIDRÓGENO-DIÉSEL



Conferencia internacional  
Hidrógeno con Energías Renovables,  
nuevas oportunidades para Chile



Fernando Hentschel M.  
Director de Desarrollo Tecnológico  
10 de Mayo de 2017



Gobierno  
de Chile

gob.cl