



COMITÉ SOLAR
E INNOVACIÓN ENERGÉTICA



Hacia una economía de hidrógeno verde Identificando alternativas de financiamiento



ORGANIZAN



COMITÉ SOLAR
E INNOVACIÓN ENERGÉTICA



AUSPICIAN



MEDIA PARTNER



Ana María Ruz
ana.ruz@corfo.cl

Santiago, 28 de abril de 2020



Proceso de construcción de la hoja de ruta

marzo – julio 2019

Comité Técnico
Asesor
6 sesiones.

10 entrevistas a
expertos
internacionales y
nacionales Alemania,
Australia, Estados
Unidos.

200 profesionales
+ 12 empresas
consultadas.

4 Talleres de visión
compartida
(zonas norte, centro,
sur y sur Austral).

4 Talleres de
construcción estrategia
(zonas norte, centro, sur
y sur Austral).

1 Seminario
diseminación
Nacional.

Hoja de Ruta Estrategica

Punta Arenas, 4 junio

*"Liderar el mercado de **producción y exportación**, mediante innovación e **investigación en tecnologías** propias o adaptadas, desde Magallanes, usando el potencial de energías renovables, para el **desarrollo sostenible** y avanzando a una independencia energética"*



Concepción, 30 Mayo

*"Chile será **productor y exportador** de H2 verde, confiable y competitivo de clase mundial, con la **participación de actores públicos y privados** para asegurar el **desarrollo sustentable** al año 2030"*



Antofagasta, 6 junio

*"Queremos ser líderes en la **producción mundial** de H2 verde, para el **desarrollo sustentable y sostenible** de las futuras generaciones, aprovechando las ventajas particulares de Chile y **fomentando el desarrollo de industrias verdes**"*



Santiago 7 junio

*"Liderar la **producción y aplicaciones** de H2 verde a nivel mundial par alcanzar una **sociedad sustentable** mediante la **producción y exportación** de energías y productos verdes, aprovechando de manera preferente el potencial solar , generando condiciones habilitantes e incentivando el **desarrollo tecnológico** al año 2030"*



COMITÉ SOLAR
E INNOVACIÓN ENERGÉTICA





Hoja de Ruta Estrategica

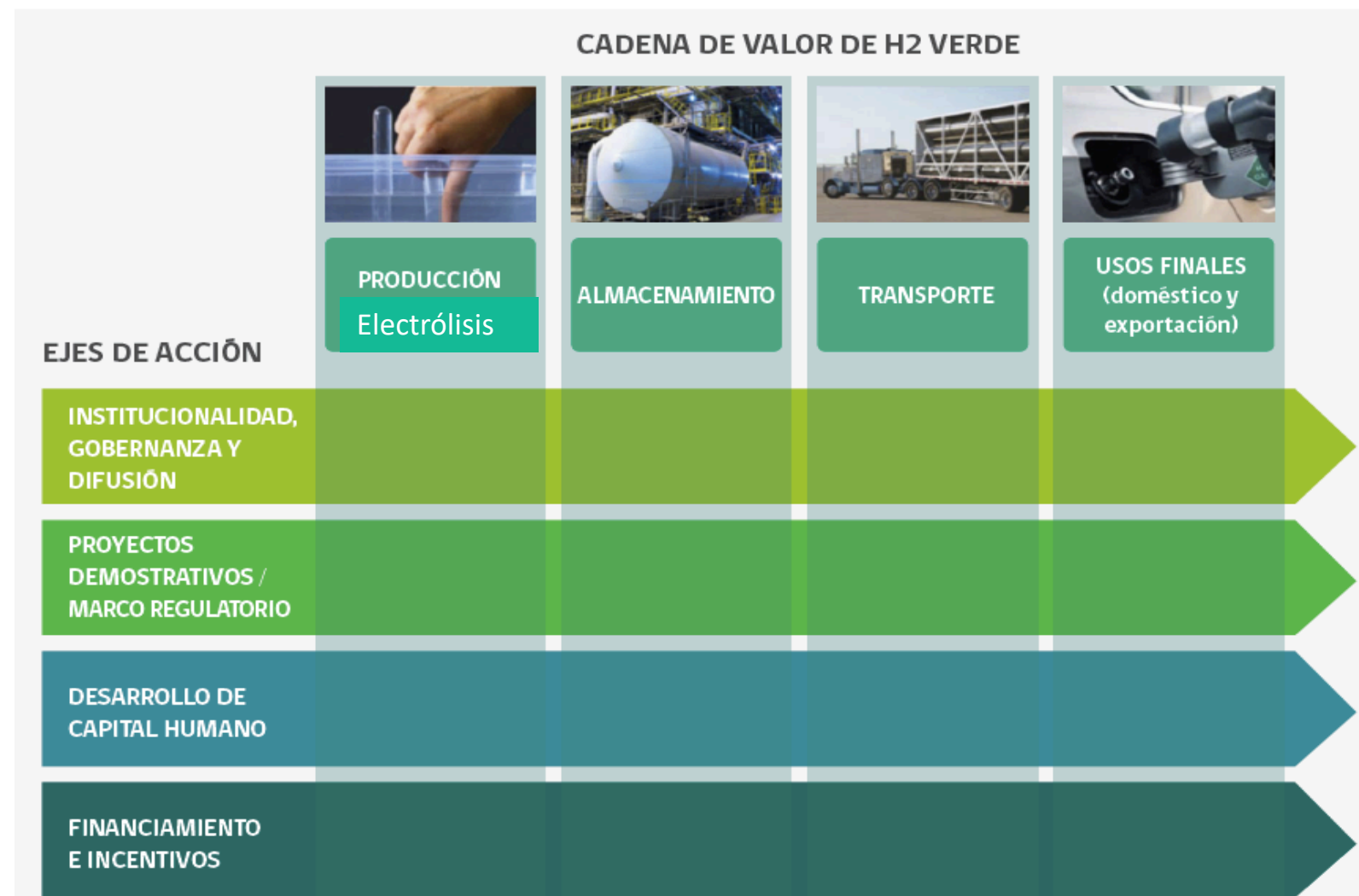
Visión Nacional

*“Ser líderes reconocidos a nivel mundial en la **producción, uso y exportación** de hidrógeno verde y sus derivados, a través del **desarrollo tecnológico**, la habilitación de un **mercado competitivo** y utilizando el reconocido **potencial de energías renovables** del país, a fin de contribuir a alcanzar una sociedad sostenible”*



Hoja de Ruta Estrategica

Ejes de acción y cadena de valor





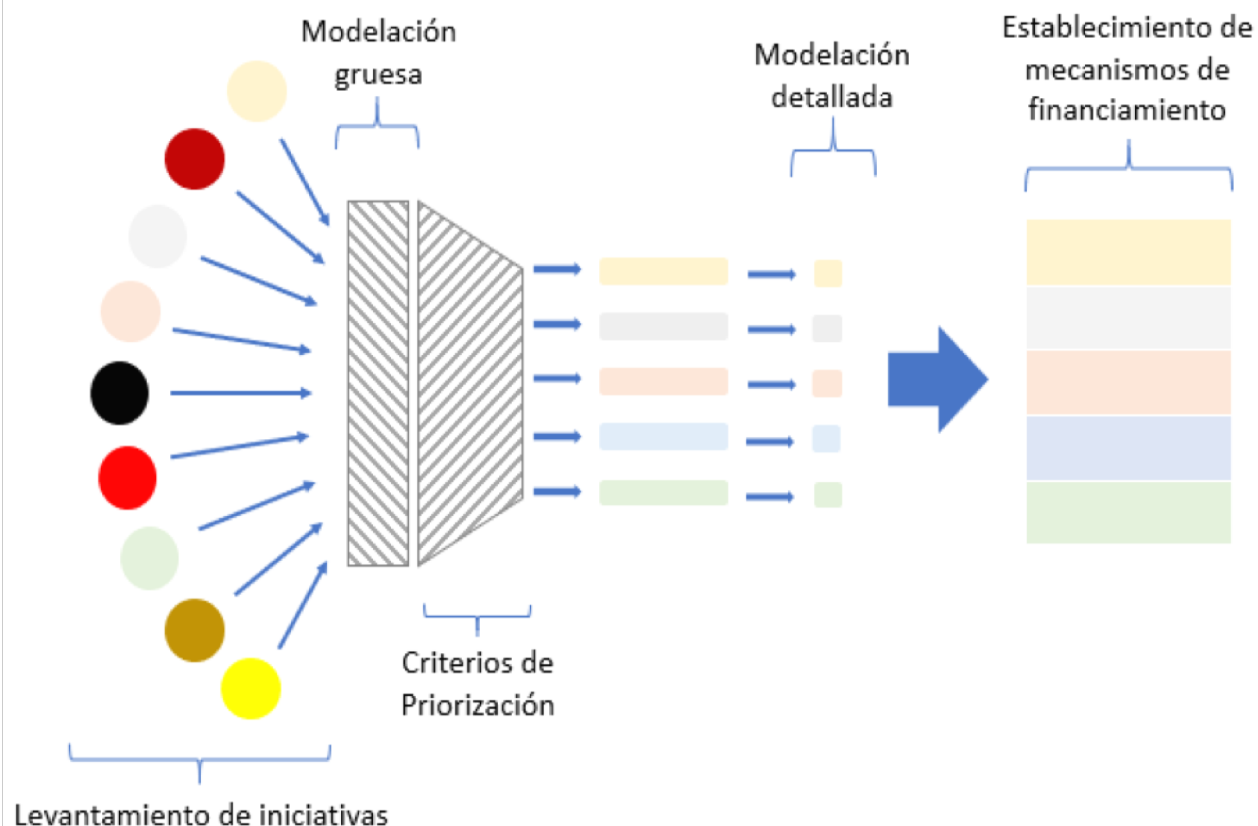
Eje financiamiento e incentivos

Estudio para Identificar esquemas de financiamiento para acelerar **la adopción tecnológica temprana** y la **implementación de proyectos** de generación, almacenamiento, transporte, consumo y/o exportación de **Hidrógeno Verde en Chile**.

- Posicionar a Chile como un actor protagónico en un mercado emergente
- Reducir emisiones de GEI en sectores industrial, transporte, residencial, entre otros
- Desarrollar proveedores y servicios locales
- Facilitar el cumplimiento de la NDC de Chile
- Lograr el compromiso de carbono neutralidad al 2050



Metodología



Resultados del estudio

- Identifica tipos de proyecto, montos de inversiones y potenciales de reducciones de CO₂e
- Identifica brechas/desafíos I+D
- Modelo técnico-económico proyectos de hidrógeno en escenarios de hoy, MP y LP identificando variables críticas
- Propuesta de estructura de financiamiento de proyectos

Levantamiento de información

- Reuniones y entrevistas con empresas privadas y públicas
- Información de fuentes nacionales e internacionales
- Equipo interdisciplinario nacional e internacional



Nueve tipos de proyectos y modelación gruesa

Tipología (Hydrogen Council)	Iniciativa	Supuestos de caso de negocio	Tamaño inversión (MMUSD)	Mitigación (t CO ₂ /año)
Transporte	Uso de Hidrógeno Verde en centros logísticos	100 montacargas junto a infraestructura de generación y carga de hidrógeno.	4	432
	Buses interurbanos y camiones en ruta	100 buses para transporte de personas (interurbanos), recorriendo 500 km al día, con inversión de estructura de generación y carga de hidrógeno	139	1.586
	Camiones y maquinaria en operaciones mineras	30 CAEX en base a celdas de combustible junto a infraestructura de generación y carga de H ₂	363	106.596
Energía para la Industria	Usos térmicos de la industria	Reconversión de un horno de 20MW e infraestructura de generación de hidrógeno	80	32.225
Calor y Energía Residencial	Calefacción residencial	Producción e inyección de hasta un 6% de hidrógeno en red de gas para calefacción de 1000 hogares.	2	877
Materias Primas para la Industria	Metanol verde	Producción del 5% de 0,8 MMton de metanol al año (producción unidad IV), e inversión de planta eólica y electrolizador.	219	63.859
	Sustitución de hidrógeno gris en refinerías	Considera 5% de los 3003 kg de H ₂ /h demandados en refinería Aconcagua.	21	15.157
	Amoniaco verde	Hidrógeno verde para planta Haber-Bosch 30.000 t NH ₃ anuales.	145	73.589
Generación de Energía	Reconversión de motores de generación de energía eléctrica para uso de hidrógeno H ₂ como combustible	Reconversión de motor diésel a hidrógeno de 30MW y la infraestructura de generación y carga de hidrógeno	110	81.701



Selección de tipos de proyectos y modelación

Replicabilidad

Potencial de mercado

9 tipos de proyectos identificados

Demanda de H₂ : 40.000 t/año
Inversión : 1.082 MMUSD
Mitigación : 376.000 tCO₂e/año

45x



Demanda de H₂: 1,8 MM t/año
Ventas : 3.600 MMUSD/año
Mitigación : 17 MM tCO₂e

*Mercado nacional 2019: 59 mil toneladas de hidrógeno

Madurez tecnológica / Competitividad / Nivel de Inversión /
Potencial de replicabilidad / Grado involucramiento / Mitigación emisiones

5 tipos de proyectos priorizados

Demanda de H₂: 6.500 t/año
Inversión : 650 MMUSD
Mitigación : 74.000 tCO₂e/año

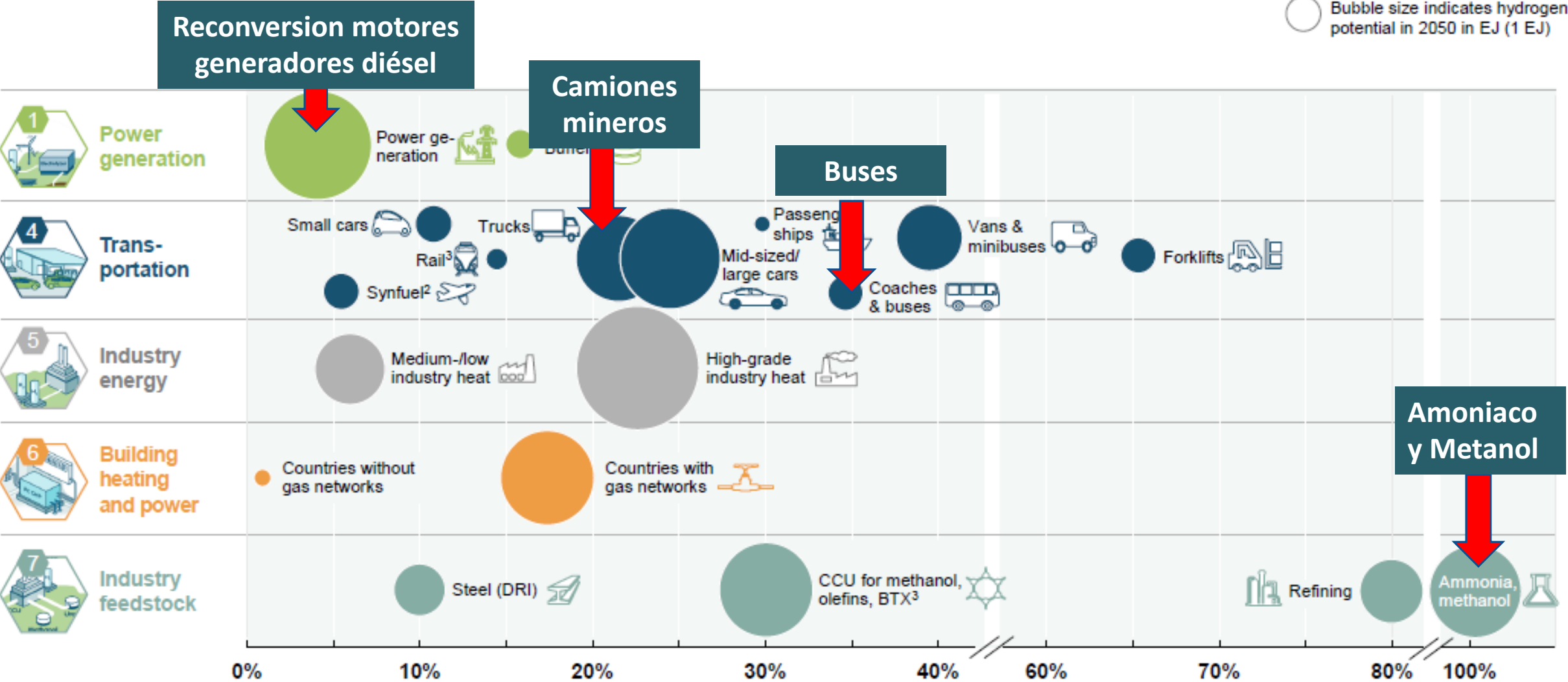
264x



Demanda H₂: 1,7 MM t/año
Ventas : 3.400 MMUSD/año
Mitigación : 17 MM tCO₂e

Cinco tipos de proyectos priorizados

○ Bubble size indicates hydrogen potential in 2050 in EJ (1 EJ)



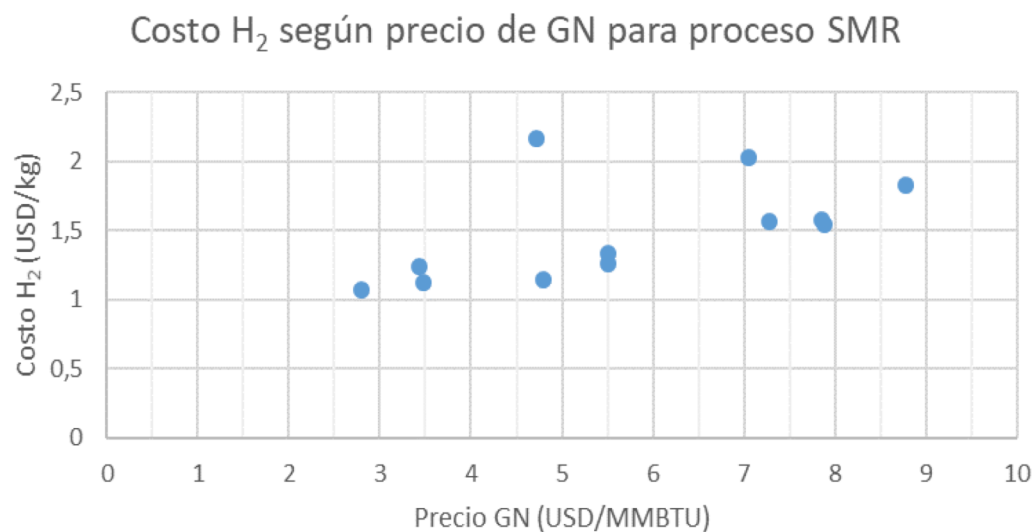
1 Percent of total annual growth in hydrogen and variable renewable power demand
2 For aviation and freight ships

Relative importance by 2050
Market share potential in segment

Aplicaciones del hidrógeno para contribuir a la carbono neutralidad y proporción del segmento de mercado que podría abarcar al 2050 Fuente: Hydrogen Council

Costos de producción hidrógeno

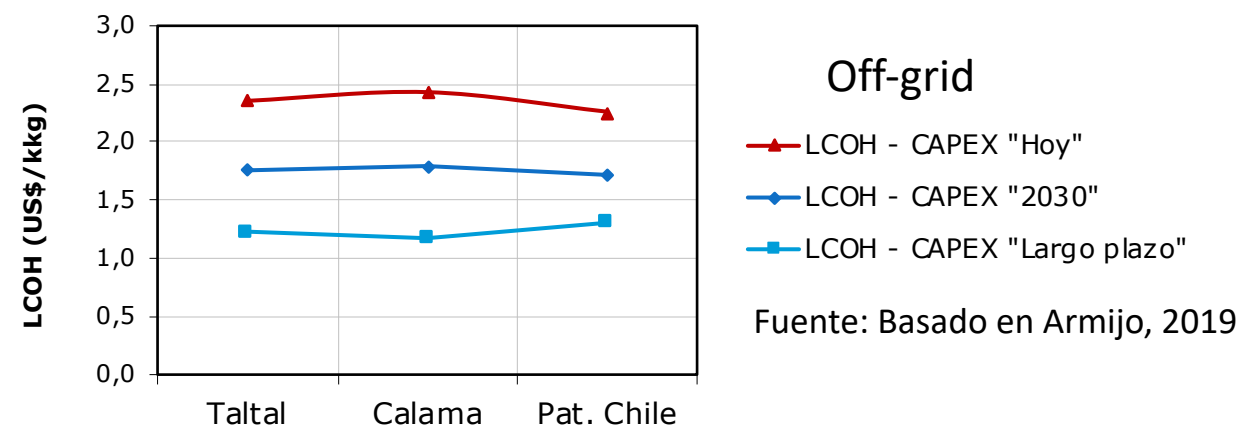
Hidrógeno convencional



Costo de producción hidrógeno con tecnología SMR para distintos precios de gas natural (GN).

Fuente: Elaboración propia en base a Royal Society of Chemistry (2018)

Hidrógeno Verde

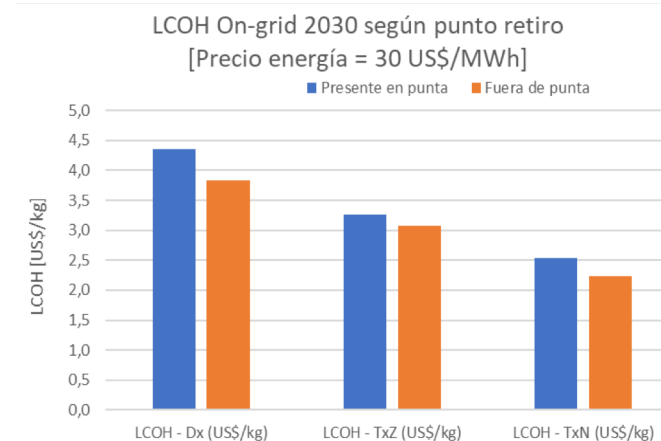


On-grid

Dx: sistema distribución

TxZ: sist.transmisión zonal

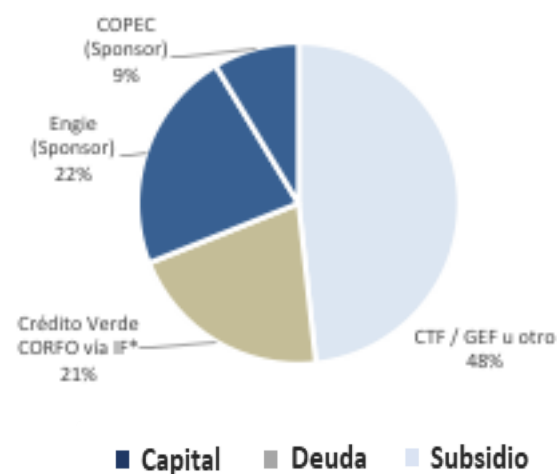
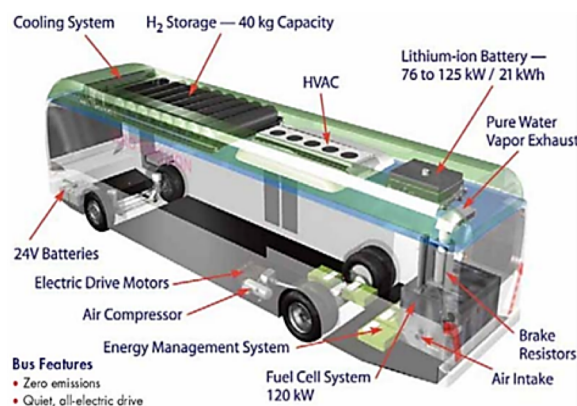
TxN: sist. transmisión nacional



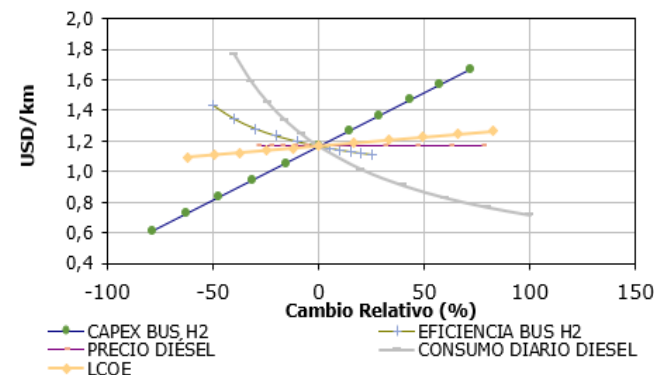
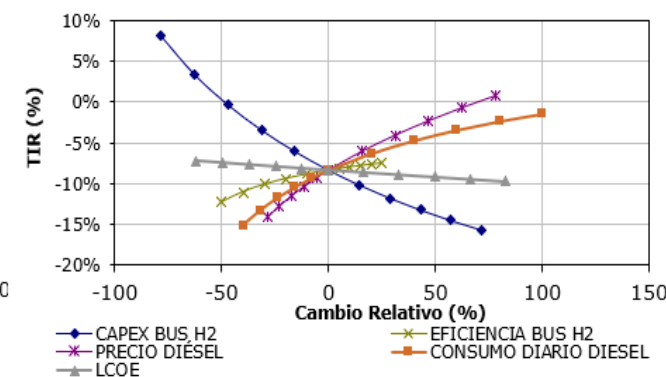
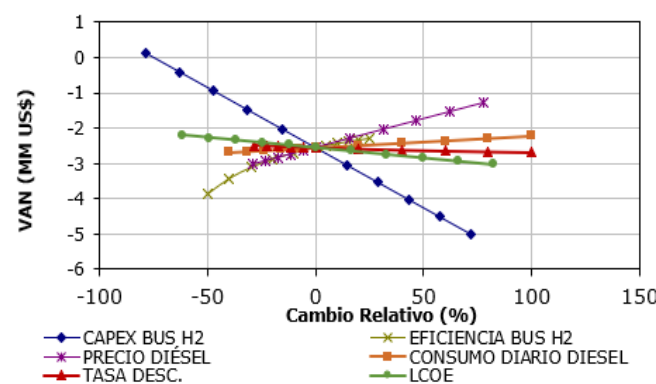
Brechas/ desafíos en I +D y financiamiento

Buses intrurbanos y camiones en ruta

- Reducir CAPEX de los vehículos en un 50% para lograr paridad con buses diésel.
- Tecnología está disponible pero se requiere ecosistema nacional de soporte y servicios.
- Proyectos con recorridos diarios más largos entre 700 y 800 km/día mejoran rentabilidad



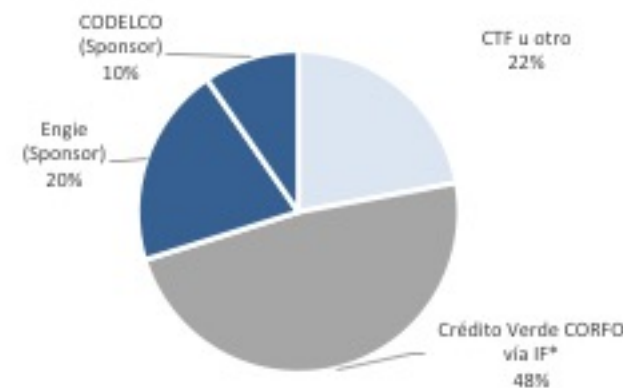
Calama: Electrolizador 0,57 MW, Planta ERNC 0,73 MW, Compresión y almacenamiento de 8 MWh; 5 Buses en base a hidrógeno, recorrido 250 km/día



Brechas/ desafíos en I +D y financiamiento

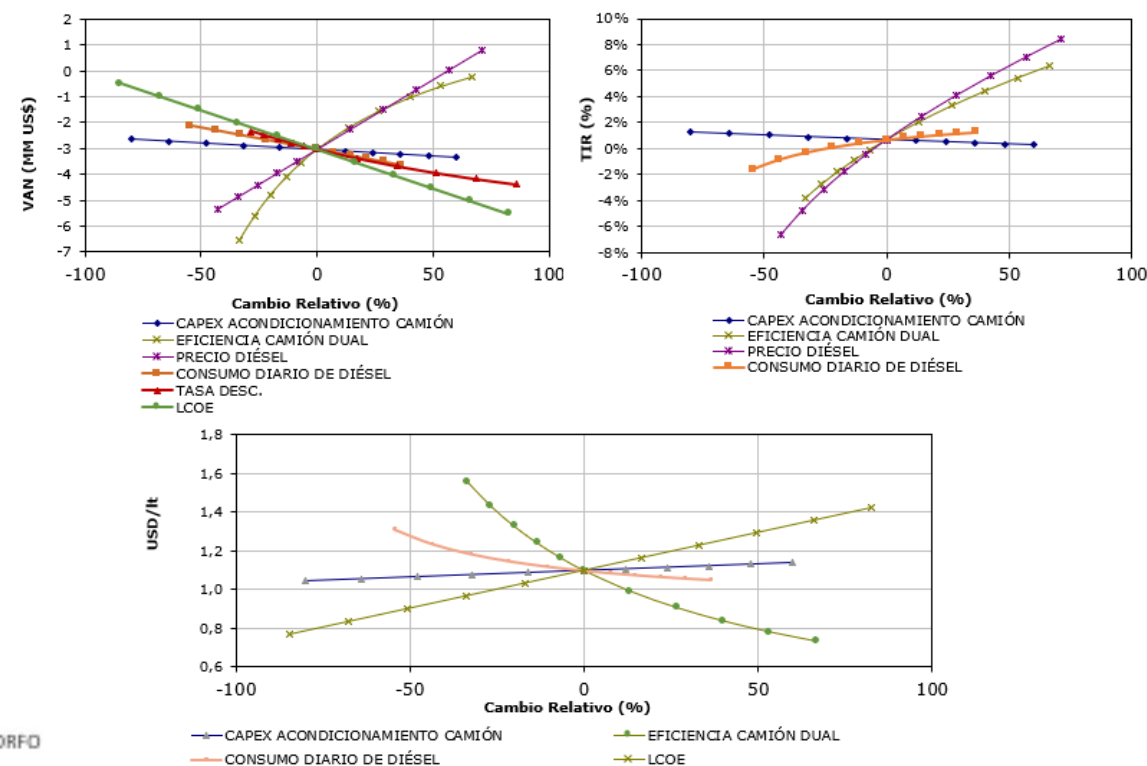
Camiones y maquinaria en operaciones mineras

- Aumentar tasa de sustitución de diésel
- Aumentar eficiencia de motores
- Reducir LCOE de 24 USD/MWh en un 50%
- Kit de conversión en desarrollo (prototipo 2021)



■ Capital ■ Deuda ■ Subsidio

Calama: Electrolizador 3 MW, Planta ERNC 3,9 MW,
Compresión y almacenamiento 41 MWh, 1 CAEX



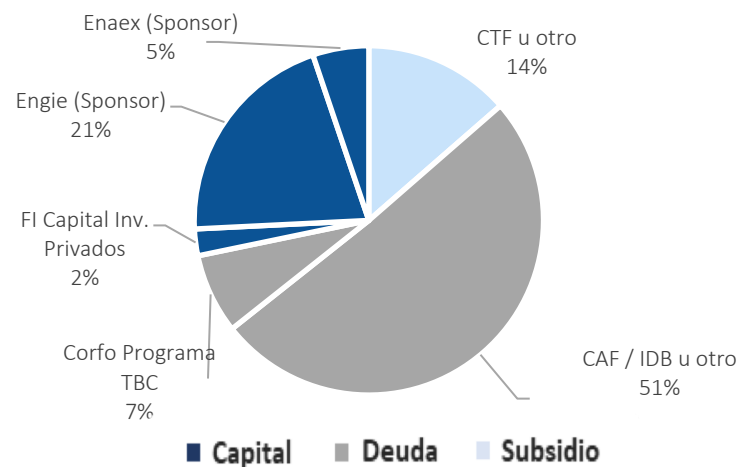
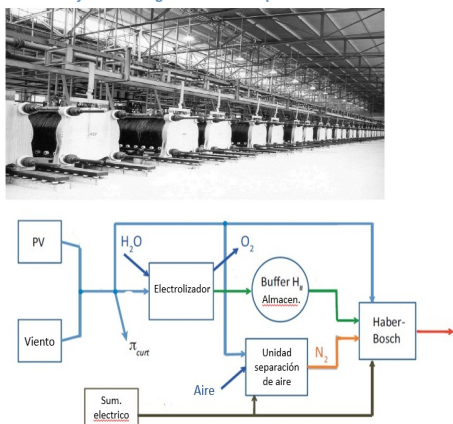
Análisis de sensibilidad para iniciativa CAEX Dual 60%
H₂/40% diésel (2030)

Brechas/ desafíos en I +D y financiamiento

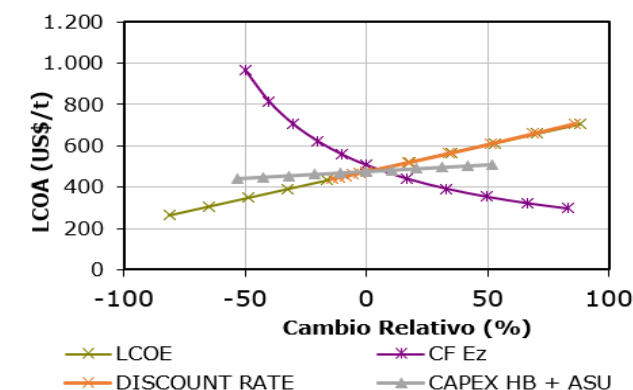
Amoníaco Verde

- La tecnología tiene un nivel de madurez comercial (TRL9) y el desafío técnico es la integración en escala industrial de la cadena completa de producción
- Escala planta Haber-Bosch
- Tamaño de la planta de electrolisis
- Reducción de LCOE FV 27 USD/MWh en 50%
- Aumento de eficiencia de electrolizadores

Yara Glomfjord, Norway until 1991
155MW electrolysis based 'green' ammonia production



Taltal: Producción: 30.000 tNH3/año, Electrolizador 51,6 MW, Planta ERNC 84,6 MW, Compresión y almacenamiento 277 MWh, Haber-Bosch 24 MW



Análisis de sensibilidad para iniciativa amoniaco verde ("2030")

Precio Amoniaco gris importado por ENAEX
(US\$/ton)

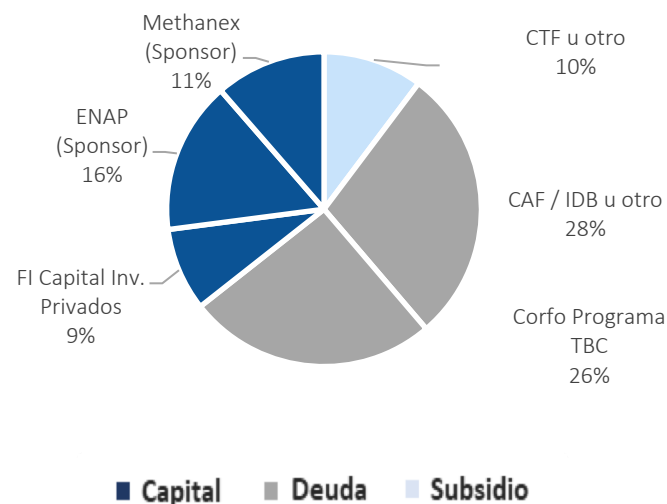


Costo de importación de ENAEX

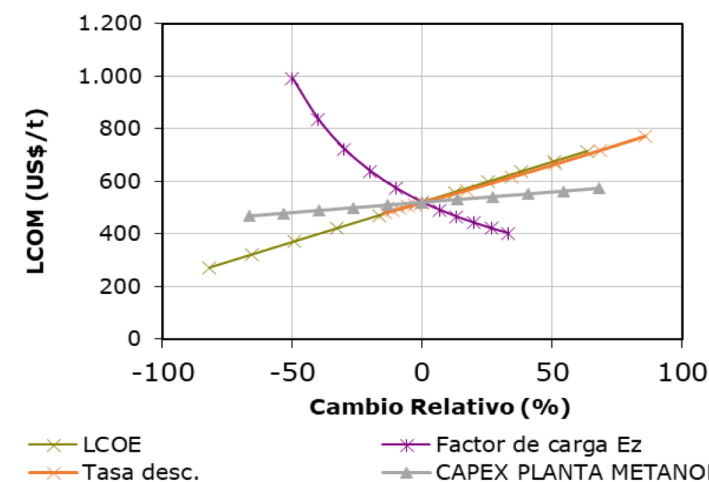
Brechas/ desafíos en I +D y financiamiento

Metanol Verde

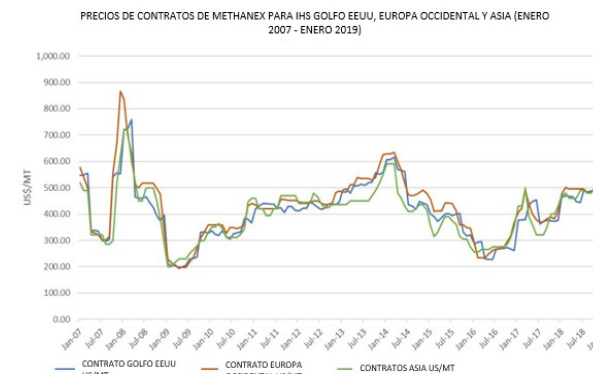
- Costo y desarrollo de tecnologías de captura de CO₂.
- Reducción de LCOE eólicos (ev. con 27,5 USD/MWh)
- Sinergias con planta eólica y refinería de ENAP, vertimiento de energia?
- Factor de carga de electrolizador



Magallanes: Electrolizador 13 MW, Planta eólica 20 MW, Compresión y almacenamiento 145 MWh



Análisis de sensibilidad para iniciativa metanol verde ("2030")



Precio spot del metanol en mercado internacional, Fuente: Methanex

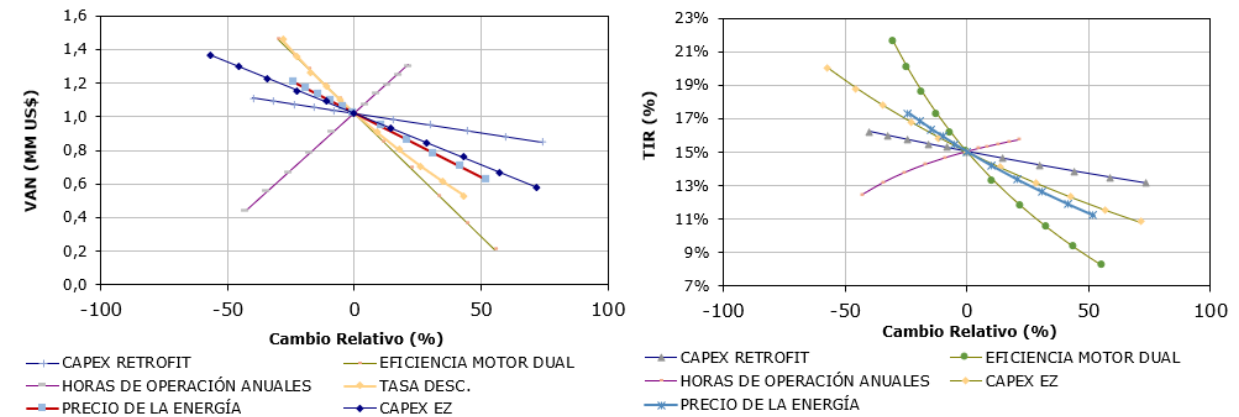
Brechas/ desafíos en I +D y financiamiento

Reconversión de motores diésel generadores a hidrógeno

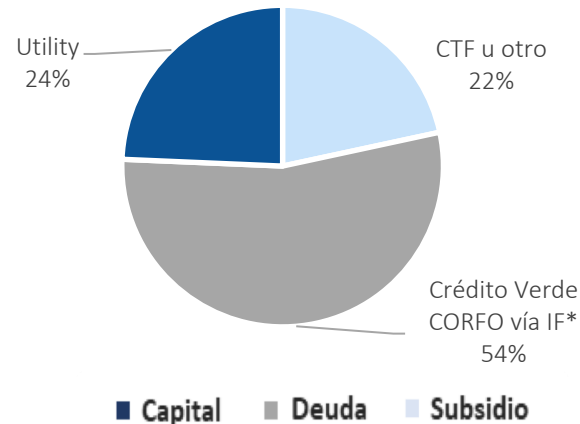
- Kit de reconversión de motores estacionarios de generación en desarrollo (prototipo 2021)
- Horas de operación
- Costo de la energía
- Costo del retrofit de los motores



Calama: Electrolizador 0,76 MW, Planta ERNC 0,98 MW, CSD 5,4 MWh



Sensibilidad para iniciativa reemplazo 100% de diésel en motores (2030)



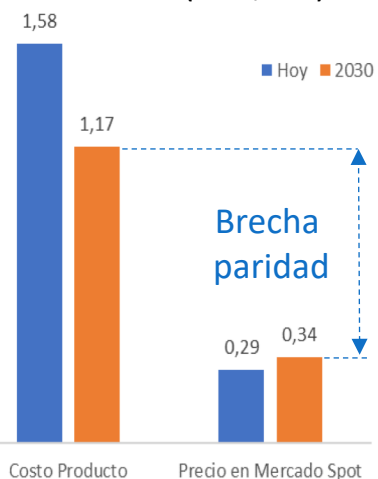
Estructura de financiamiento propuesta (en MMUSD)

Proyecto	Subsidio no reembolsable (CTF y/o fondos CleanTech)	Deuda (incluye deuda indirecta de programas CORFO)	Capital	Subtotal sin subsidio	Total (MMUSD)	Deuda / Equity
Buses interurbanos y camiones en ruta	2,0	0,8	1,3	2,1	4,1	40% - 60%
Camiones y maquinaria en operaciones mineras	1,5	3,4	2,1	5,5	7,0	62% - 38%
Metanol verde	3,6	19,0	12,5	31,5	35,1	60% - 40%
Amoniaco verde	16,5	70,6	34,3	104,9	121,4	67% - 33%
Reconversión motores de generación eléctrica para uso de H2	0,3	0,8	0,4	1,2	1,5	69% - 31%
Total	23,9	94,6	50,5	145,1	169,1	
Participación (%)	14%	56%	30%	86%	100%	

Resumen tipos de proyectos priorizados y su cercanía a mercado

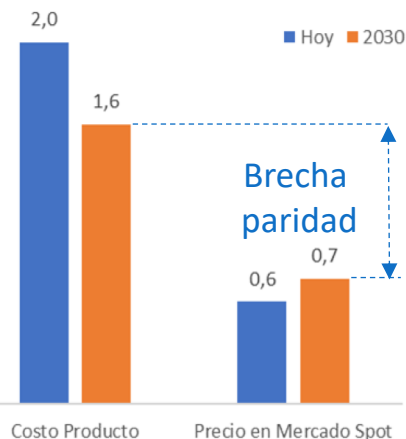
Buses a hidrógeno

Costo (US\$/km)



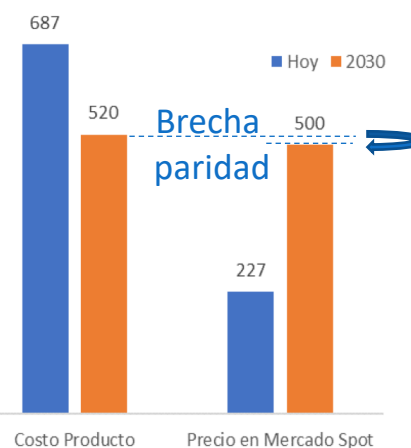
Camiones extracción minera

Precio diésel (US\$/t)



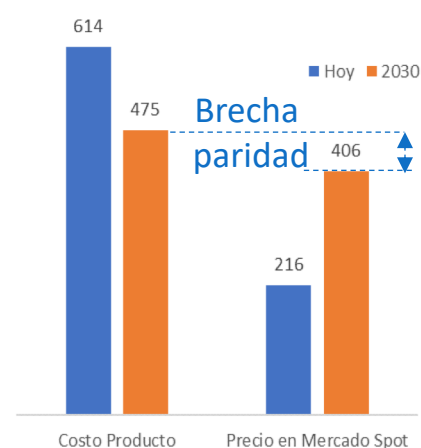
Metanol verde

Precio metanol (US\$/t)



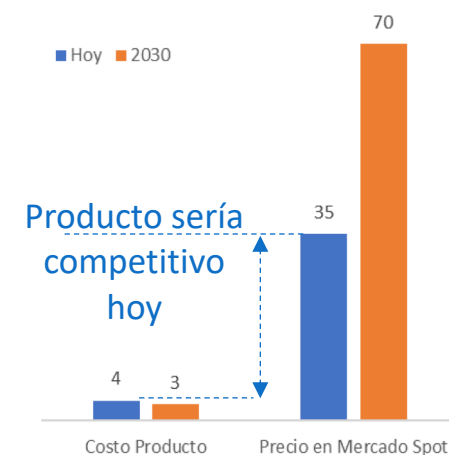
Amoniaco verde

Precio amoniaco (US\$/t)



Reconversión motores generadores

Costo variable (US\$/MWh)



.....conclusiones

- El estudio realizado es muy general, pero permite obtener **ordenes de magnitud de niveles de inversiones y desafíos tecnológicos** globales. Entrega una herramienta para evaluación de configuraciones diferentes de los proyectos.
- Los **costos de hidrógeno obtenidos (2,2 – 3,8 USD/kg al 2030)** están todavía por encima del rango actual (SMR, entre 1,1 y 2,2 USD/kg).
- Bajos **los supuestos de este estudio (LCOE 24 - 28USD/MWh al 2030)** aún hay brechas de financiamiento para los proyectos de amoníaco y metanol verde.
- Si el **LCOE alcanza < 10 - 15 USD/MWh antes**, por ej. al 2025 los proyectos amoníaco y metanol evaluados serían viables financieramente.
- Proyectos para conseguir viabilidad financiera **al día de hoy necesitan subsidios u otros mecanismos de fomento**, lo que se condice con la tendencia internacional de quienes quieren aprender ahora y estar preparados para capturar las oportunidades comerciales.
- Exenciones de peajes de energía y potencia (caso amoníaco), exenciones o tasas preferentes de IVA y de impuestos de primera categoría, exenciones al pago de impuestos a las emisiones (caso metanol) pueden ser explorados en evaluaciones mas específicas.

Calendario Programas de Innovación Corfo 2020

LLAMADO 1 16 Mar - 16 Abr	LLAMADO 2 1 Jul - 3 Ago	LLAMADO 3 30 Sep - 2 Nov
	BIENES PÚBLICOS	
CENTROS FORTALECE PYME		CENTROS FORTALECE PYME
SÚMATE A INNOVAR	SÚMATE A INNOVAR	SÚMATE A INNOVAR
ÚNETE ECODISEÑO		
INNOVA REGIÓN		INNOVA SOSTENIBLE
	INSTALA INNOVACIÓN	INSTALA INNOVACIÓN
CREA Y VALIDA (*)	CREA Y VALIDA (**)	CREA Y VALIDA (*)
INNOVA ALTA TECNOLOGÍA		
	CONSOLIDA Y EXPANDE	CONSOLIDA Y EXPANDE
LEY INCENTIVO TRIBUTARIO A LA I+D		

● Programas con foco en innovación sostenible.

(*) Categorías abiertas: Innovación Empresarial, I+D+i Empresarial, I+D+i Colaborativo.

(**) Categorías abiertas: Innovación Empresarial.

Llamados y Programas sujetos a modificaciones. Accede a www.corfo.cl para obtener la última versión.



COMITÉ SOLAR
E INNOVACIÓN ENERGÉTICA



Hacia una economía de hidrógeno verde Identificando alternativas de financiamiento



ORGANIZAN



COMITÉ SOLAR
E INNOVACIÓN ENERGÉTICA



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



AUSPICIAN



MEDIA PARTNER



Santiago, 28 de abril de 2020

CORFO ACTOR CLAVE

- Apoyo en la estructura de financiamiento de nuevas tecnologías con alto interés de desarrollo de las empresas nacionales.
- Apoyo al desarrollo de la industria del hidrógeno en Chile:
 - Estudio de mecanismos de financiamiento
 - Coordinación para atraer recursos internacionales
 - Hoja ruta realizada el 2019
 - Programas Tecnológicos y Centros de Excelencia
 - Programas de Innovación
- Incentivo tributario (ley I+D)



Tipo de proyecto	Escala proyecto demostrativo	Empresa interesada	Offtakers	Producción Hidrógeno t/H2 año	Reducción Emisiones tCO2/año		CAPEX MMUSD	OPEX MMUSD	Costo Abatimiento USD/tCO2e	Tamaño Mercado t H ₂	Potencial de replicabilidad	Reducción Emisiones MMtCO ₂ /año	Total CAPEX replicabilidad MMUSD	
	Proyecto escala industrial (2030)									Replicabilidad				
Buses interurbanos y camiones en ruta	Electrolizador 0,57 MW, Planta ERNC 0,73 MW, Compresión y almacenamiento de 8 MWh; 5 Buses en base a hidrógeno	Transp. Géminis	Minería	42	457	4,1	0,05	258,0	381.698	9.088	4	36.807		
Camiones y maquinaria en operaciones mineras	Electrolizador 3 MW, Planta ERNC 3,9 MW, Compresión y almacenamiento 41 MWh, 1 CAEX	Consorcio Alset	Minería	223	1.808	7,0	0,13	77,0	606.893	2.721,5	5	19.050		
Metanol verde	Electrolizador 13 MW, Planta ERNC 20 MW, Compresión y almacenamiento 145 MWh	Methanex	Clientes methanex	1.591	12.800	35,1	0,67	22,4	306.224	192,5	2	6.756		
Amoniaco verde	Electrolizador 51,6 MW, Planta ERNC 84,6 MW, Compresión y almacenamiento 277 MWh, Haber-Bosch 24 MW	Enaex Engie	Minería	4.597	56.337	121,4	2,07	67,9	90.000	19,6	1	2.377		
Reconversion motores de generación eléctrica para uso de H2	Electrolizador 0,76 MW, Planta ERNC 0,98 MW, CSD 5,4 MWh	Bluecome	Centrales de punta del SEN	56,3	2.873	1,5	0,02	-18,0	335.300	5.955,6	17	8.933		
	Total			6.509	74.275	169,1			1.720.116			30	73.923	

Resumen tipos de proyectos priorizados y su cercanía a mercado

Tipo de proyecto	Producto	LCOE USD/MWh	Costo Producto	Precio en Mercado Spot	LCOH (USD/kg)	LCOE USD/MWh	Costo Producto	Precio en Mercado Spot	LCOH (USD/kg)
		HOY				2030			
Buses interurbanos y camiones en ruta	Costo de km recorrido (USD/km)	27,95	1,58	0,29	5,55	23,81	1,17	0,34	3,78
Camiones y maquinaria en operaciones mineras	Costo dia por camion (USD/l)	27,95	2,02	0,57	3,52	23,81	1,56	0,70	2,63
Metanol verde	Metanol (USD/t)	31,52	686,9	[227; 500]	3,70	27,51	519,7	[227; 500]	2,60
Amoniacos verde	Amoniacos (USD/t)	30,9	613,7	[216; 406]	3,50	26,6	475,1	[216; 406]	2,50
Reconversión motores de generación eléctrica para uso de hidrógeno	Costo de variable de generación (USD/MWh)	28	3,7	[34,5; 69,7]	2,91	23,81	3,00	[34,5; 69,7]	2,16

Buses interurbanos y camiones de carga en ruta

Descripción

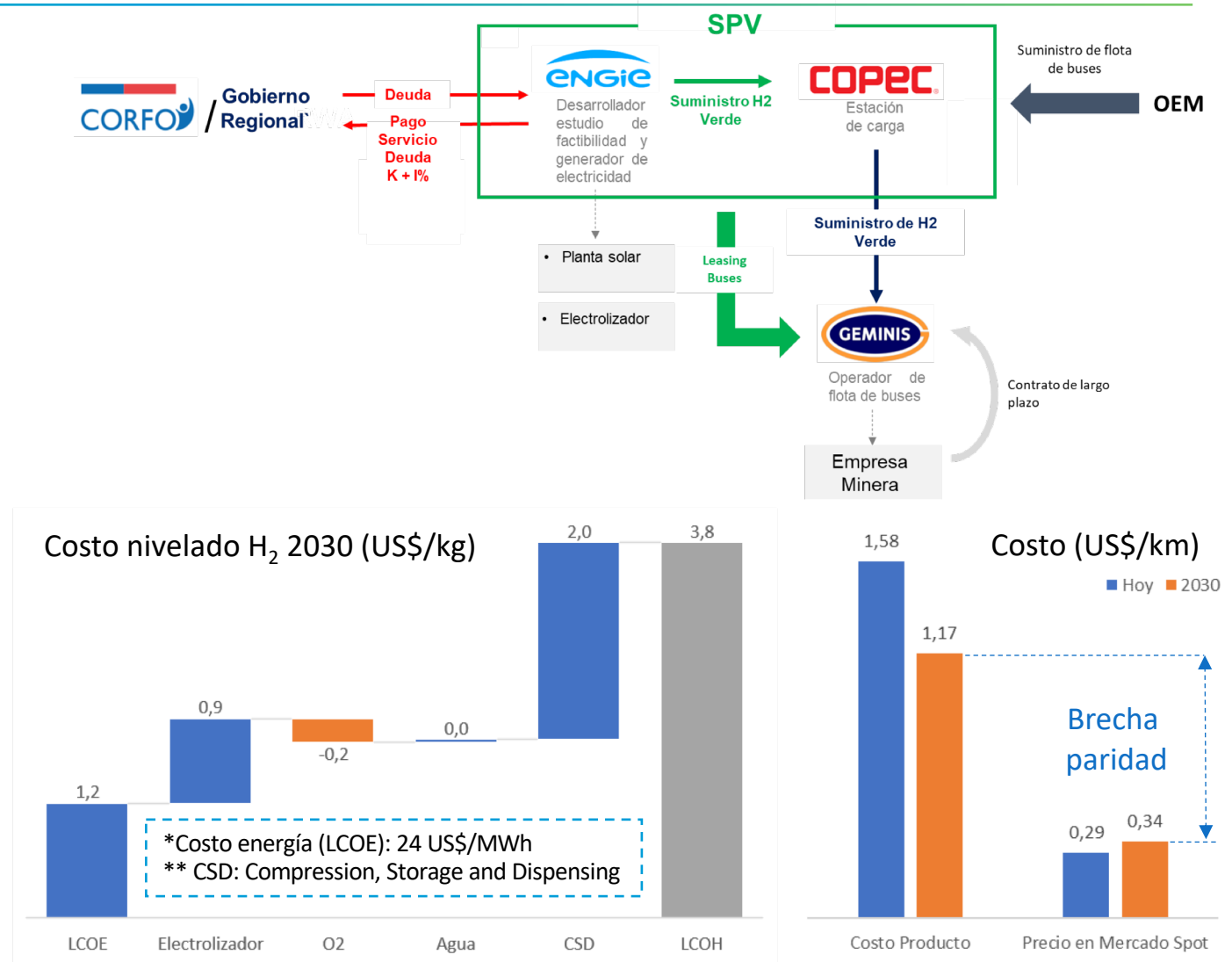
Reemplazo de buses diésel por buses en bases a celdas de combustible, para transporte de trabajadores de la minería.

Propuesta de valor

- Implementar un medio de transporte cero emisiones en un sector que representa el 38% de las emisiones GEI (2017)
- Generar conocimiento y aceptación de la tecnología de buses en base a H₂ (celdas de combustible y baterías)

Principales riesgos

- Proveedores de buses podrían ser reticentes a vender en sudamérica por ser un mercado nuevo donde no existe experiencia con la O&M de buses ni tampoco hidrolineras.
- Al haber transporte de pasajeros y una estación de carga, la normativa a cumplir aún está en desarrollo.



Camiones y maquinaria en operaciones mineras

Descripción

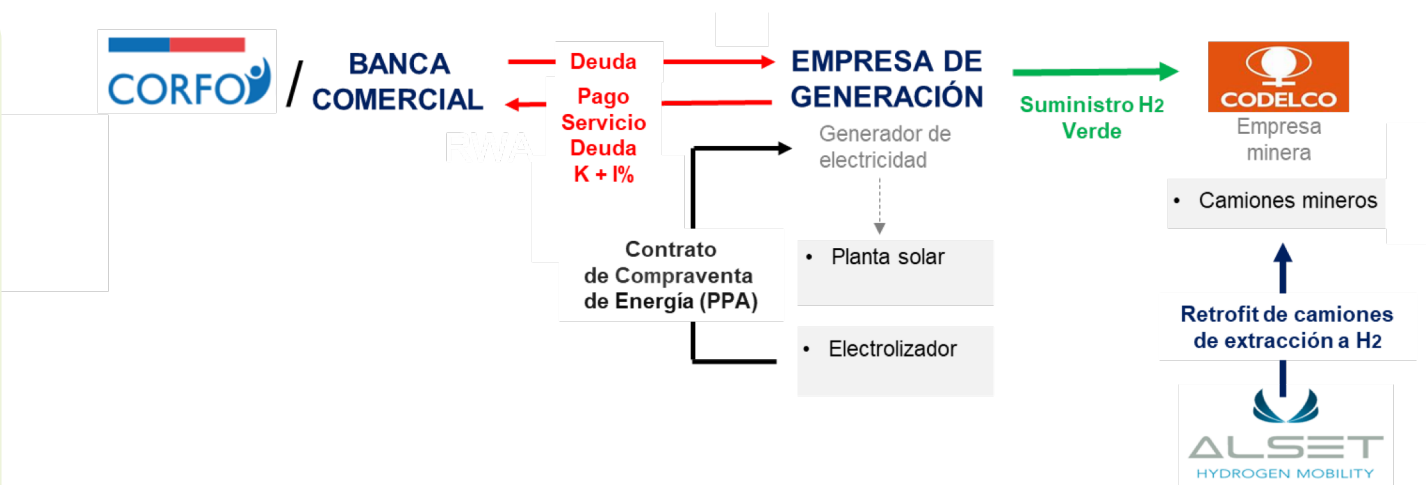
Transformación de camiones de extracción minera en base a diésel por un sistema de combustión dual H₂/diésel, para la reducción de emisiones en el sector minero.

Propuesta de valor

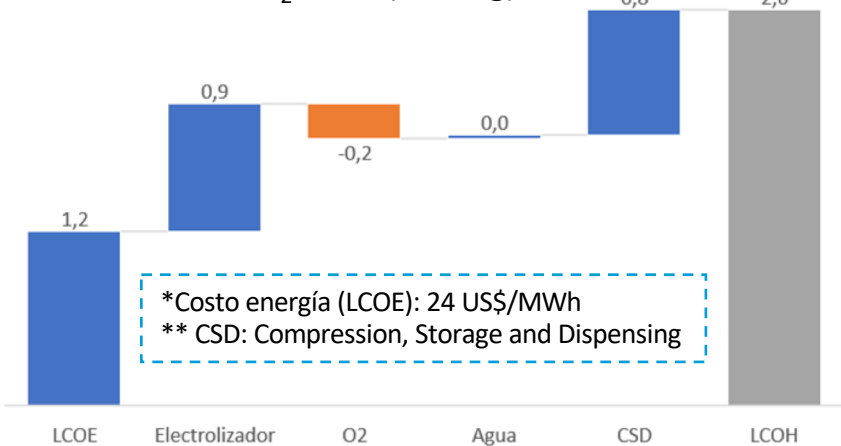
- Reducción de emisiones en la minería. Los combustibles representan el 44% de consumo energético minero del cual un 94% es diésel (2017).
- Menor exposición a variaciones del precio internacional del diésel.

Principales riesgos

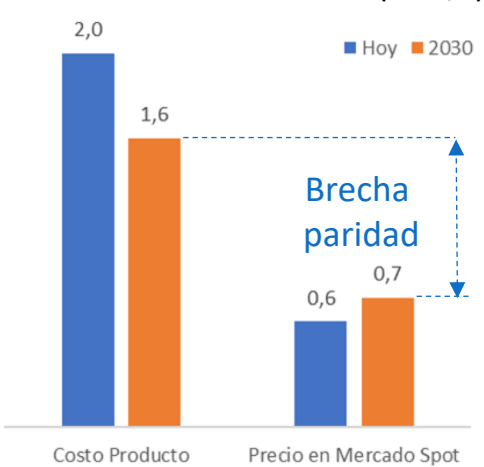
- La solución tecnológica para el retrofit de los camiones aún está en desarrollo y se debe desarrollar también la normativa y protocolos para la carga y distribución del hidrógeno.



Costo nivelado H₂ 2030 (US\$/kg)



Precio diésel (US\$/t)



Metanol verde

Descripción

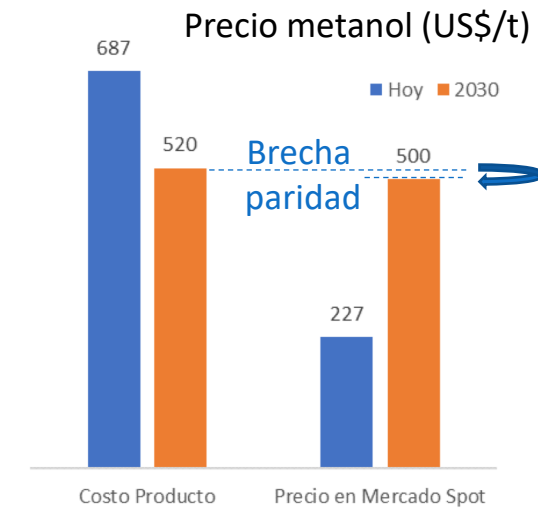
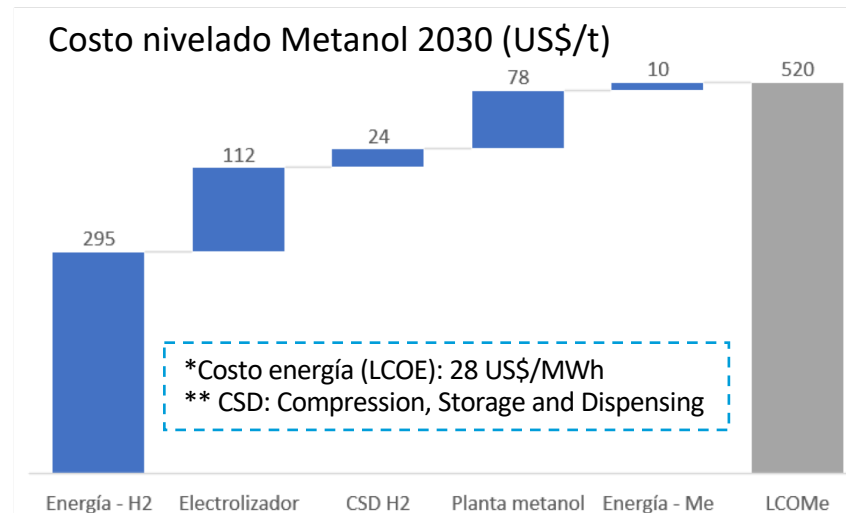
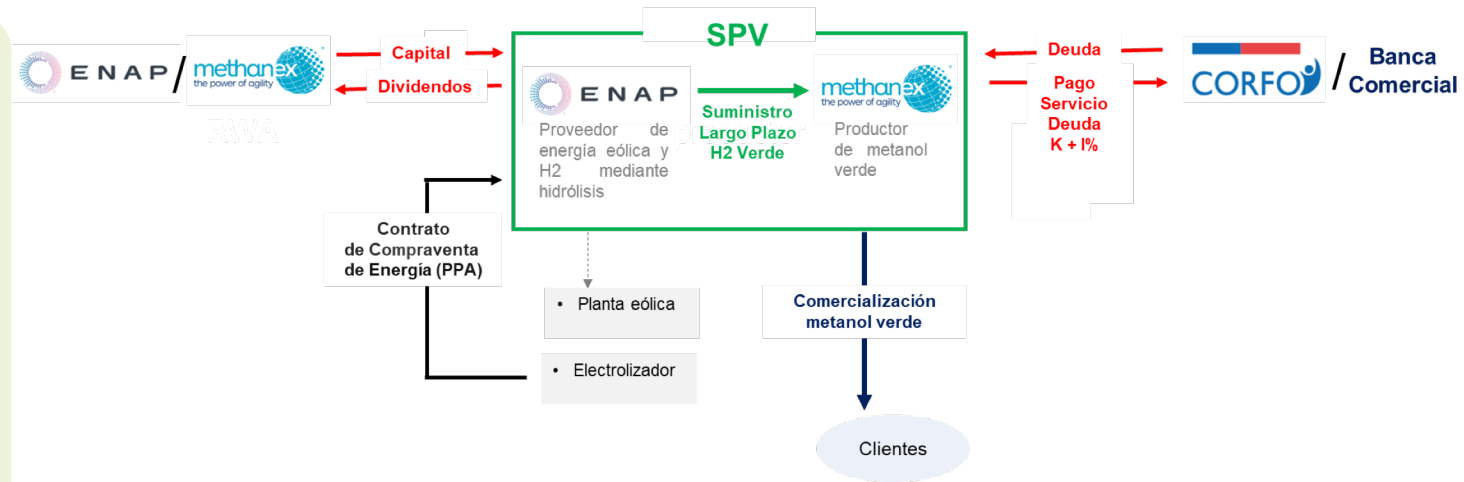
Reemplazar el 1% del hidrógeno que utiliza la unidad IV de Methanex por Hidrógeno Verde. Este sería la primera fase de un proyecto que produciría metanol verde a partir de hidrógeno y CO₂ capturado.

Propuesta de valor

- Menor exposición al precio internacional del gas natural.
- Generar conocimiento y reducir el riesgo tecnológico para escalar el proyecto en una siguiente fase.

Principales riesgos

- Si bien existen tecnologías disponibles para la captura de CO₂ (nivel TRL 9) estas pueden tener un elevado costo por lo que el proceso de reutilización de CO₂ y el balance de CO deberá ser estudiado más en detalle en la etapa de factibilidad.



Amoniaco verde

Descripción

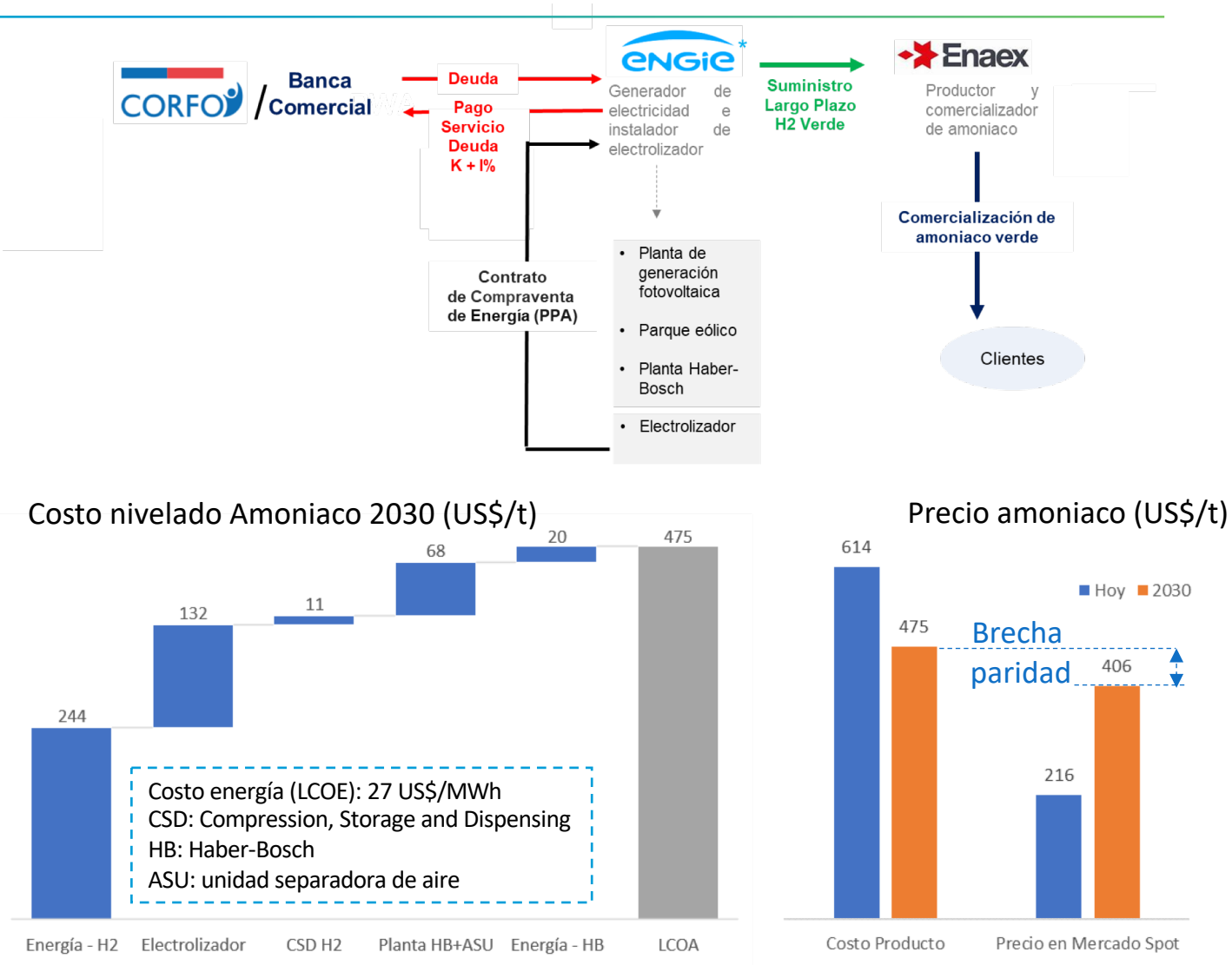
Generación de amoniaco verde para la producción de explosivos para la minería. En este proceso se considera la generación de hidrógeno verde en la zona norte del país y la producción de amoniaco a través de una planta Haber-Bosch.

Propuesta de valor

- Sustitución de importaciones e independencia de precio spot de amoniaco.
- Potencial para entrar a nuevos mercados (fertilizantes y en transporte marítimo).

Principales riesgos

- Si bien la tecnología Haber-Bosch es conocida, no existen plantas de este tipo en el país.
- El tamaño de la planta es pequeño comparado con las disponibles comercialmente lo cual la hace ser una planta más cara en términos de unidad de producto.



Reconversión motores de generación eléctrica para uso de hidrógeno

Descripción

Reemplazo de diésel por Hidrógeno Verde en motores de centrales de punta para la generación de energía eléctrica en el Sistema Eléctrico Nacional.

Propuesta de valor

- Reacondicionar el parque de centrales diésel.
- Aportar una nueva fuente de generación limpia a la matriz de generación eléctrica.
- Ampliar el modelo de negocios a la venta de energía además de los ingresos por potencia en centrales de punta.

Principales riesgos

- Pese a que existen desarrolladores, la tecnología no está completamente validada comercialmente para niveles de reemplazo altos de combustible (cercano al 100%)

