



Producción de Hidrógeno “verde” Almacenando la energía del viento en un yacimiento de gas y petróleo

Eduardo Pérez
Ariel Pérez

3 de Agosto de 2021

Contenido

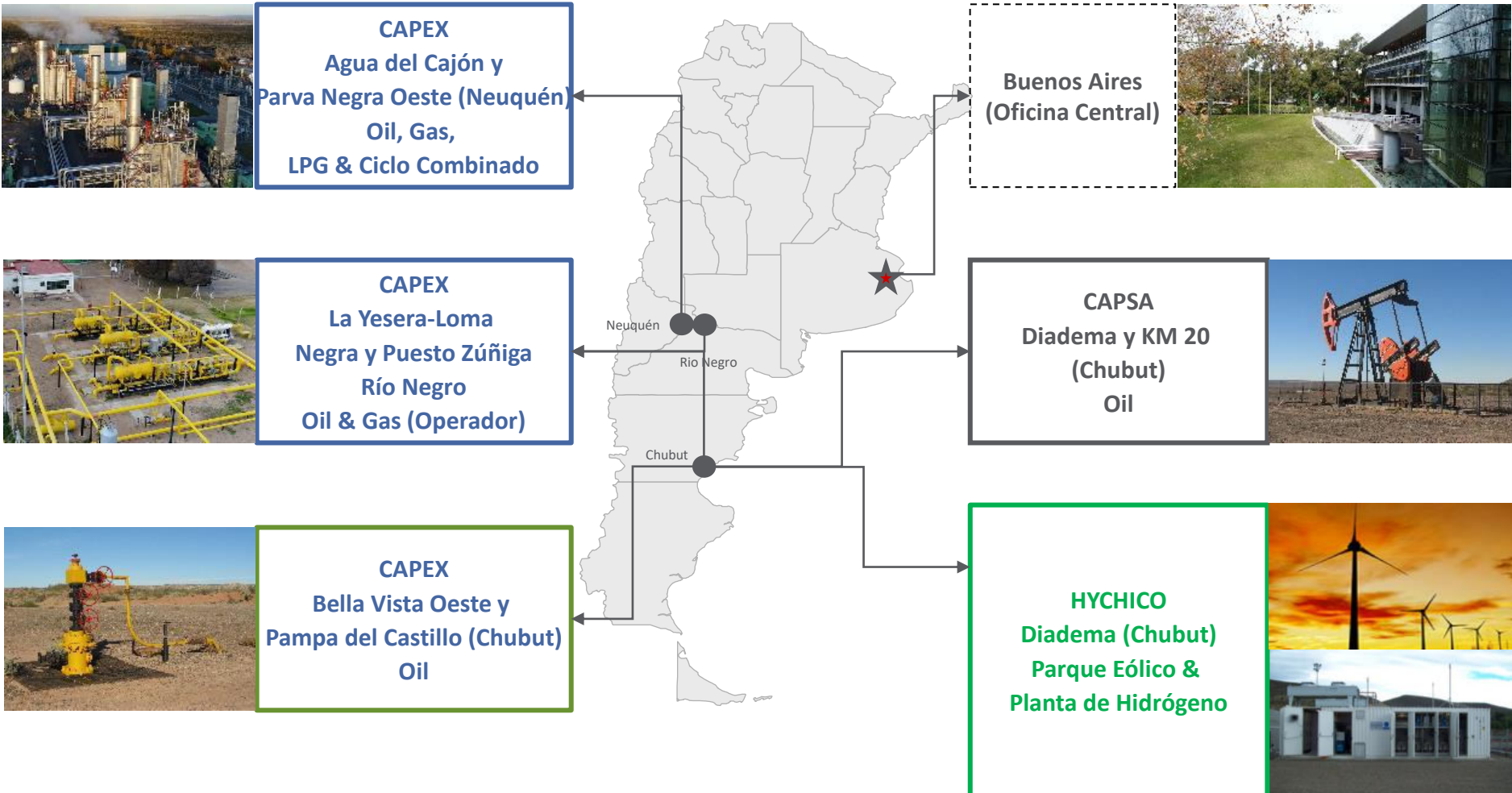
1 ¿Quiénes Somos? Nuestra visión y el contexto mundial

2 Hidrógeno - Instalaciones Hychico

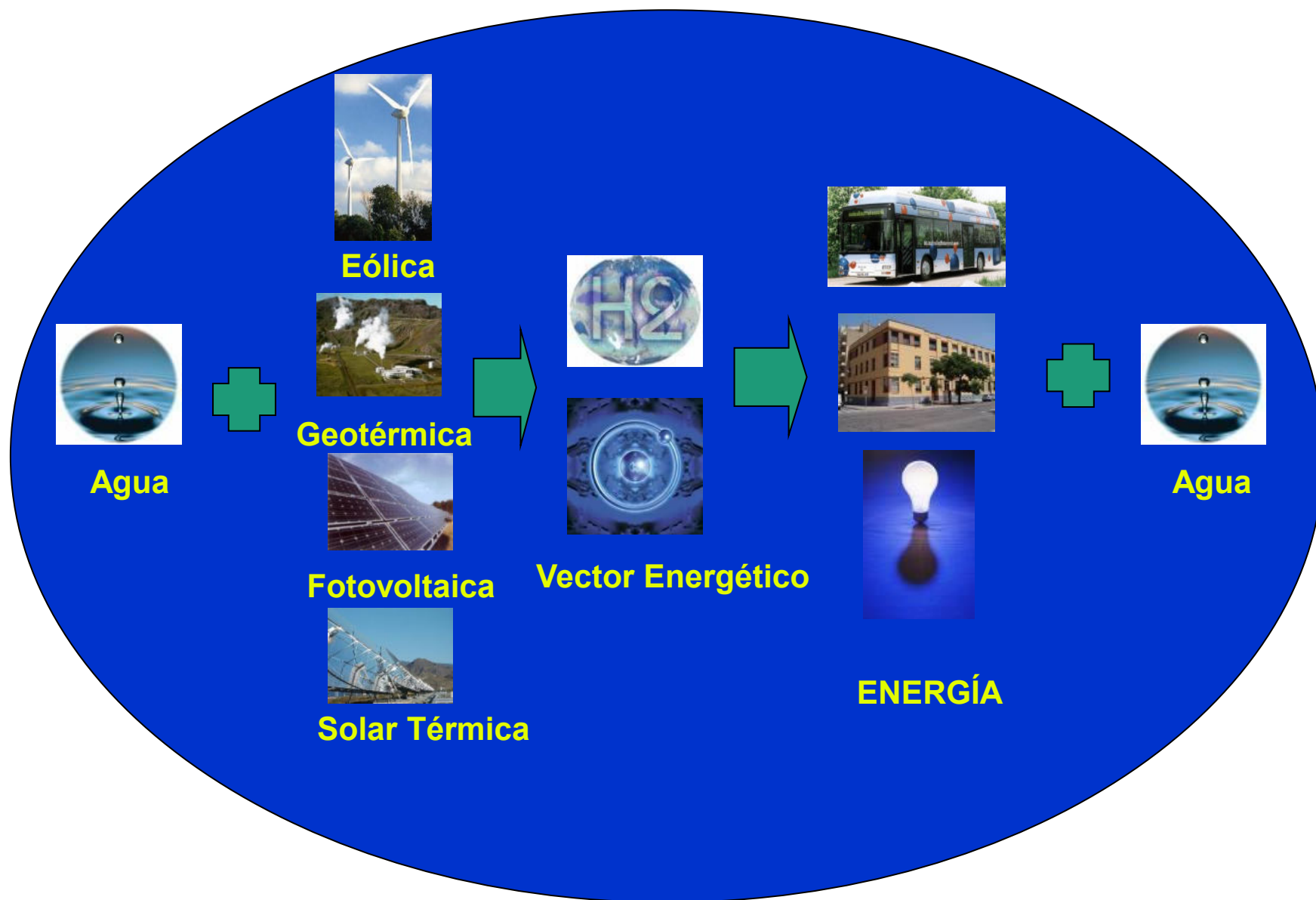
3 Almacenamiento subterráneo de Hidrógeno

4 Conclusiones

Grupo Energético CAPSA-CAPEX



H₂ y Desarrollo Sostenible



WORLD ENERGY COUNCIL
CONSEIL MONDIAL DE L'ÉNERGIE
For sustainable energy.

Strategic goals		EU	DE	NL	FR	ES	IT	UK	NO	CH	UA	RU	JP	KR	CN	AU	CA	MO
	Reduce emissions	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	✓	(✓)	(✓)	✓	(✓)	✓	(✓)	✓	✓
	Diversify energy supply	✓	✓	✗	(✓)	✓	(✓)	✗	(✓)	✗	✓	(✓)	✓	(✓)	✓	(✓)	(✓)	✗
	Foster economic growth	✓	✓	✓	✓	(✓)	✗	(✓)	✓	(✓)	(✓)	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Support national technology develop.	✓	✓	✓	✓	(✓)	✗	✓	✓	(✓)	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Integration of renewables	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	(✓)	(✓)	✓	✓	✓	(✓)	✓	(✓)	✓	✓
	Develop hydrogen for export	✗	✗	✗ ¹⁾	✗	✓	✗	✗	✗ ²⁾	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓
 main goal  less relevant  not addressed																		

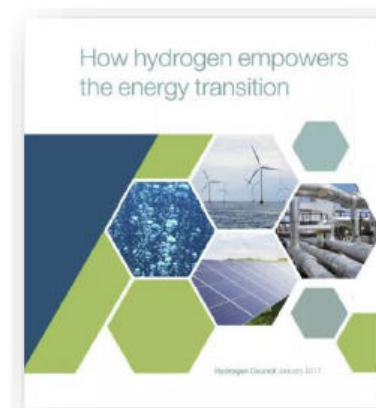
Escenario 2050

18%
Demanda
Final de
Energía

6 Gt
Disminución
Emisiones
Anuales CO₂

\$2.5 t
Ventas
Anuales

30 MM
Empleos
Creados

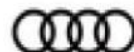


3M

Air Liquide

ALSTOM

AngloAmerican



BMW GROUP

BOSCH
Invented for life

CHN ENERGY
CHN APC ACC ABB BAE BZ

DAIMLER

ENGIE



Great Wall

HONDA

HYUNDAI

Iwatani

JX Nippon Oil & Energy

Kawasaki



Statoil

THE LINDE GROUP



TOYOTA

WEICHAI

BALLARD

Faber

faurecia
Inventing mobility



HYDROGENICS

Mitsubishi

McPhy

Mitsubishi Corporation

NISSAN CO.

nel*

PLUG POWER



TOYOTA TSUSHO

Vopak

Hydrogen Council

<https://hydrogencouncil.com/en/>

Contenido

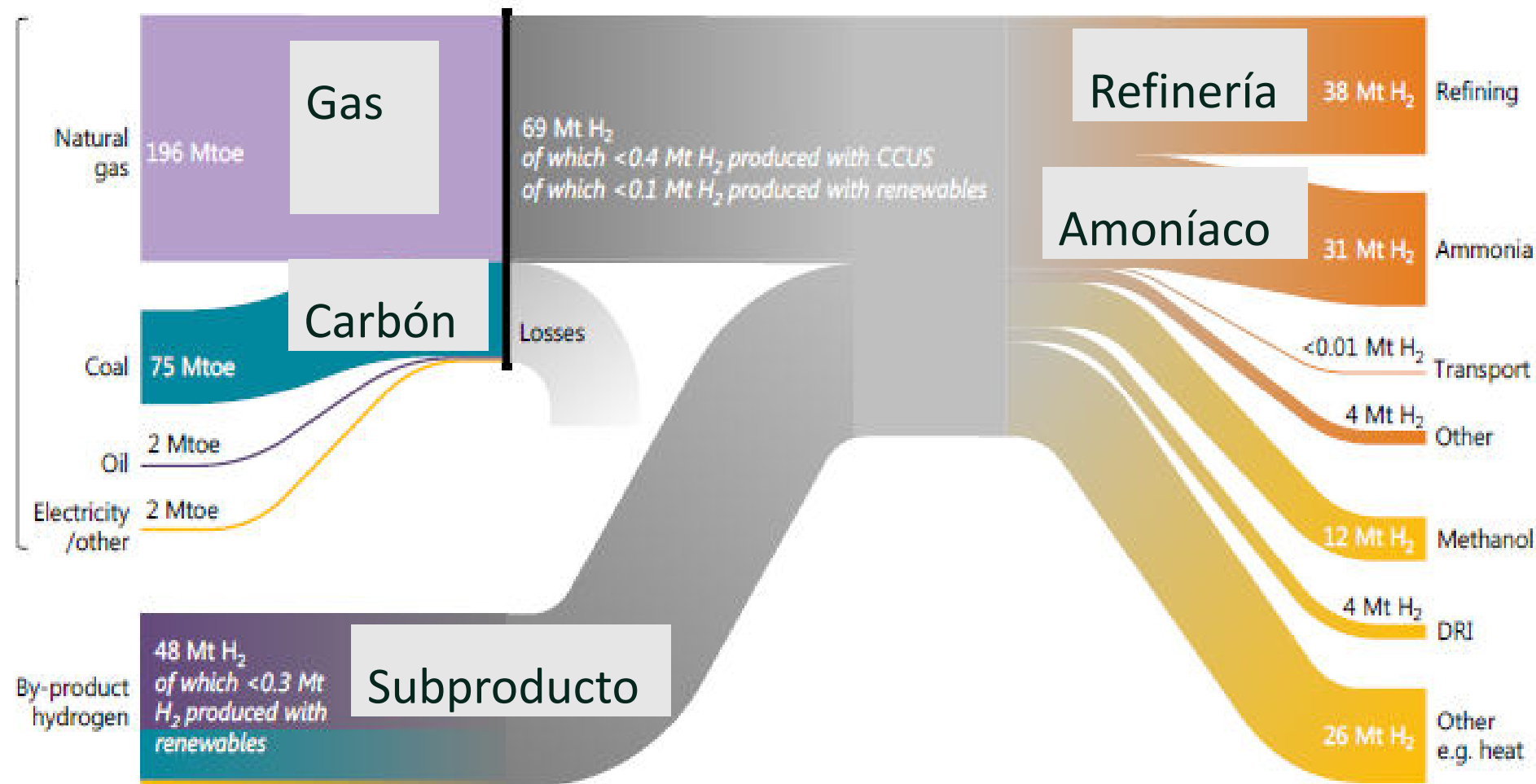
1 ¿Quiénes Somos? Nuestra visión y el contexto mundial

2 Hidrógeno - Instalaciones Hychico

3 Almacenamiento subterráneo de Hidrógeno

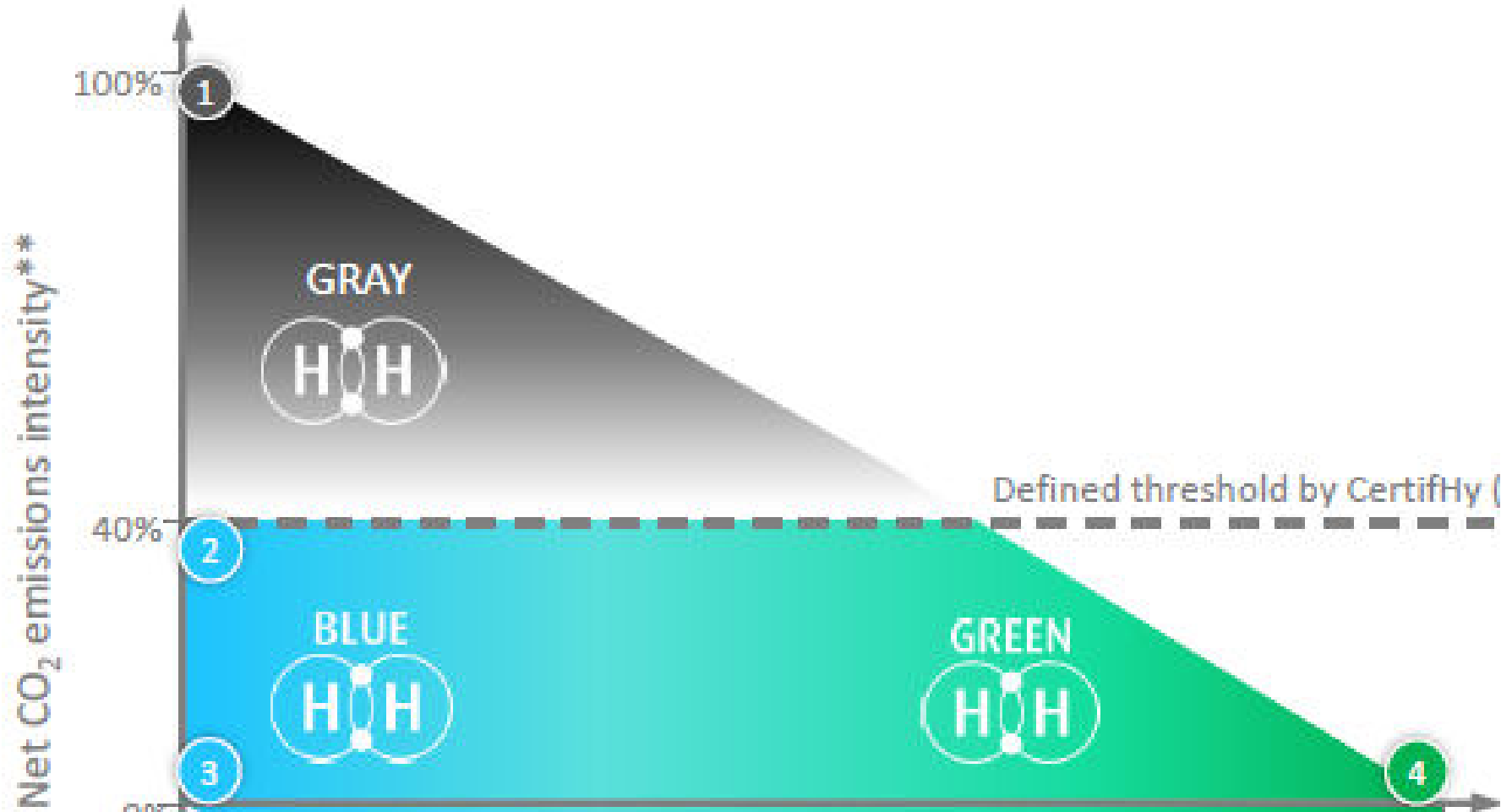
4 Conclusiones

El H₂ en la actualidad



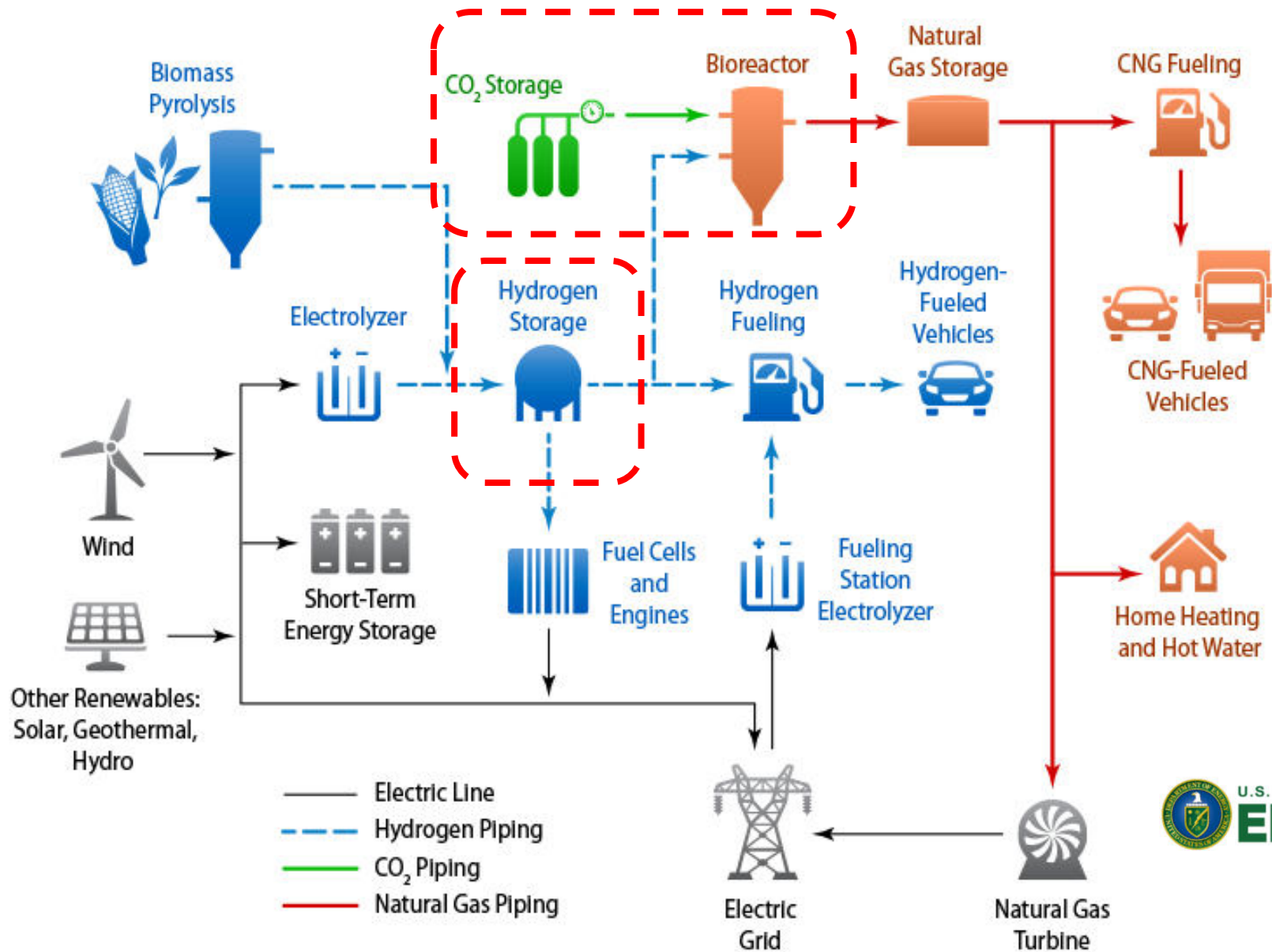
Fuente: reporte IEA 2019 "The Future of H₂"

“Colores” del Hidrógeno



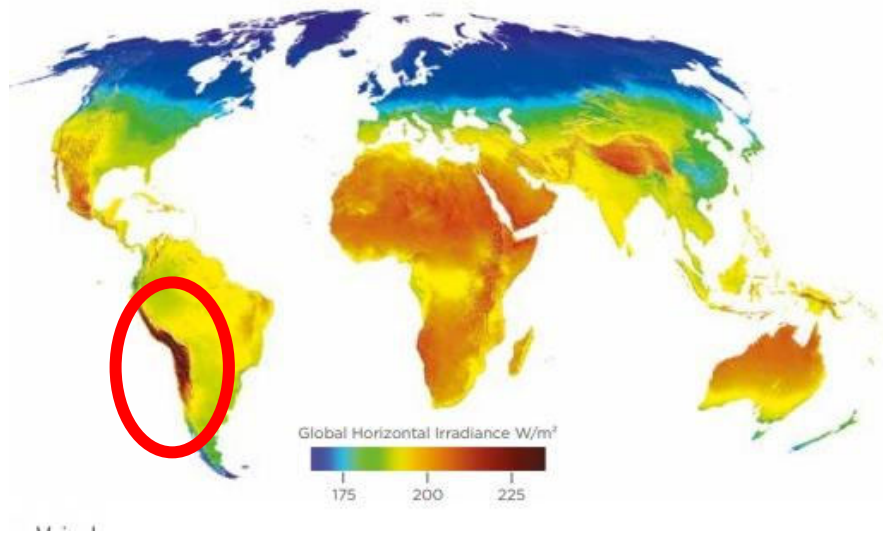
Fuente: www.certifhy.eu

“Acoplamiento de Sectores”

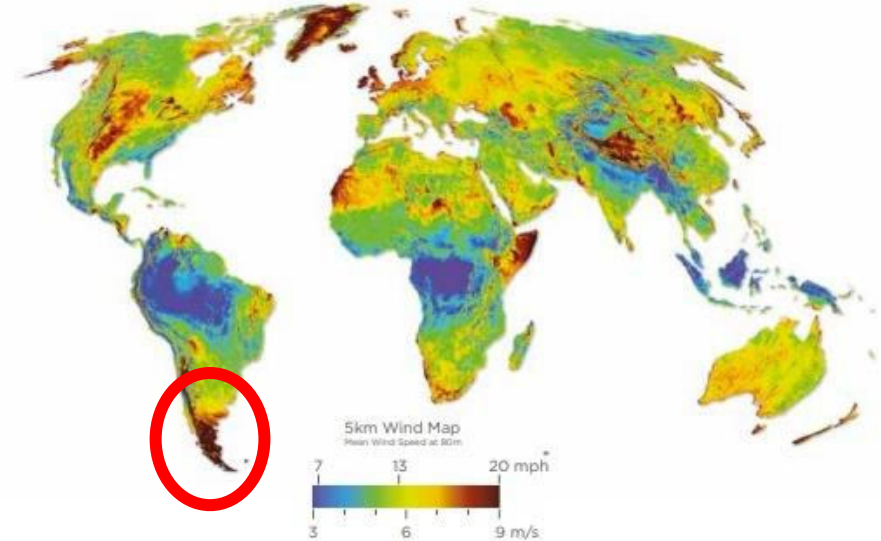


Aspectos técnico-económicos

Mapas de Recursos Renovables



Radiación Solar



Mapa eólico

Fuente: www.vaisala.com

Aspectos técnico-económicos

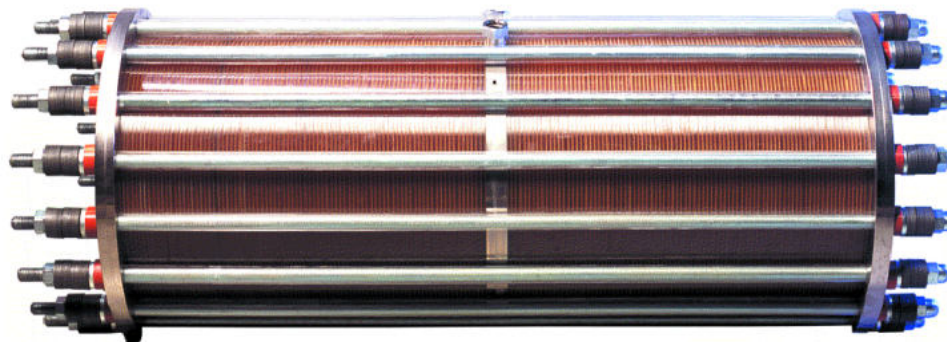
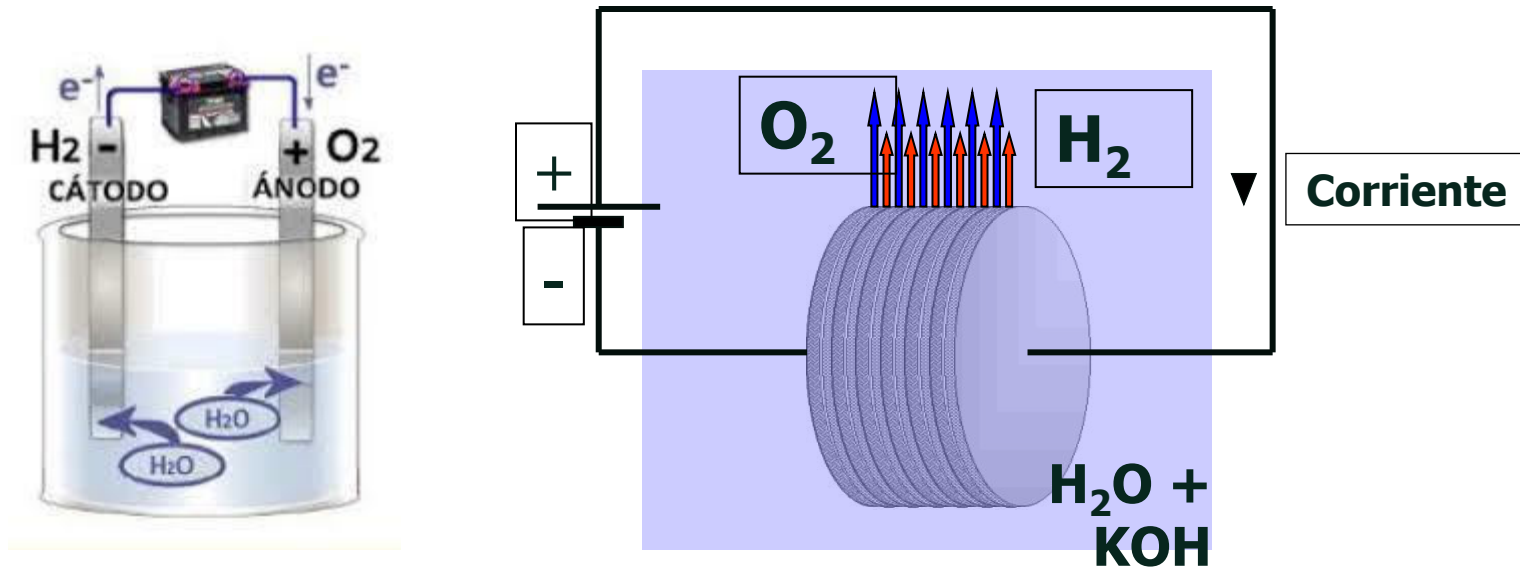
Estimación de costos de H₂ “verde” @2030



Source: IEA

Producción de H_2

PRINCIPIOS DE ELECTRÓLISIS DEL AGUA



90 celdas

15 Nm³/hr

Electrolizador Industrial



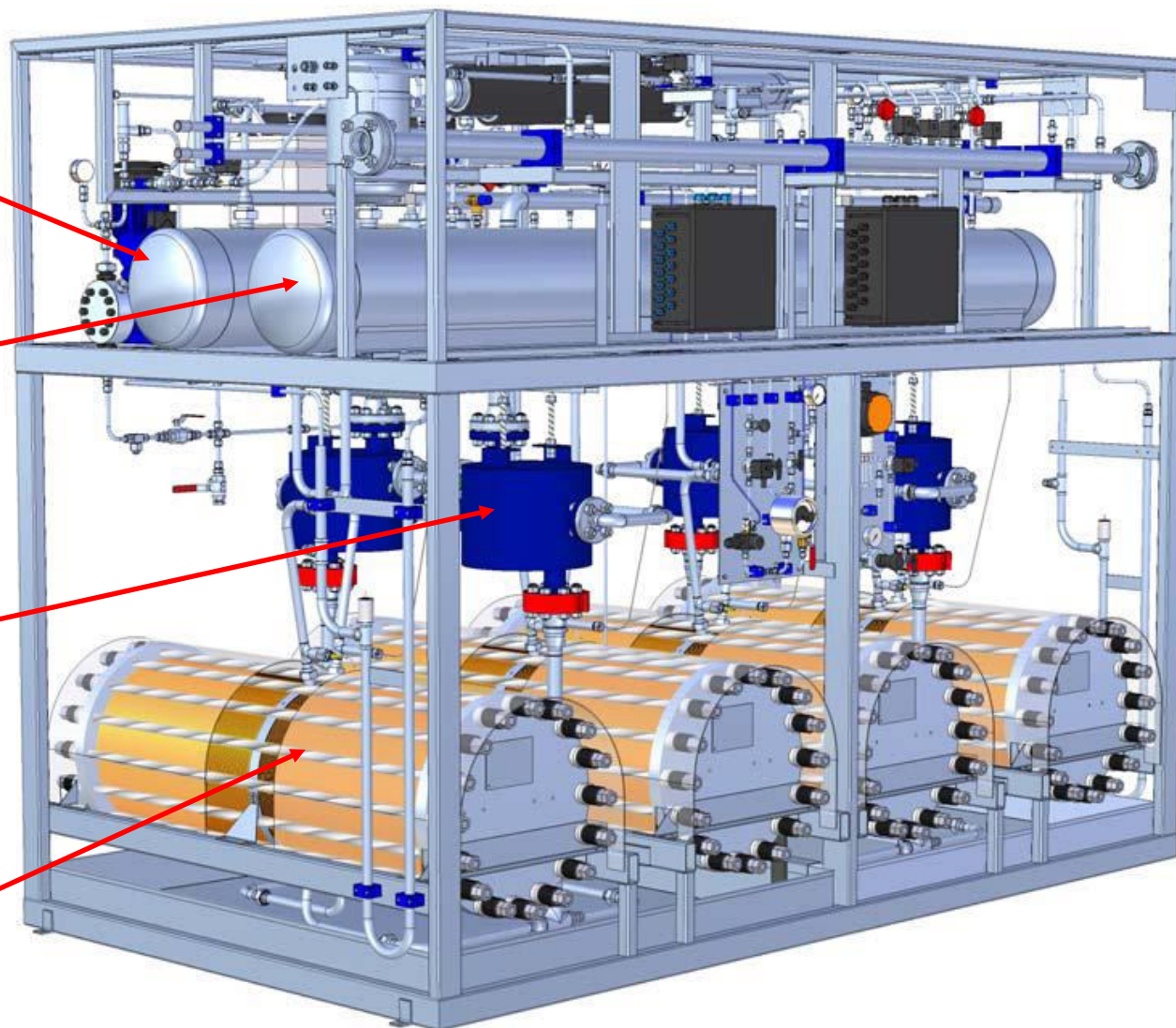
Argentine Petroleum Section

Separador
de Oxígeno

Separador
de Hidrógeno

Intercambiadores
de Calor

Electrolizador



Instalaciones Diadema

Desde 2009

Planta de H_2 : $120 \text{ Nm}^3/\text{h } H_2$



Parque eólico I: 6.3 MW

Parque eólico II: 27.6 MW



Desde 2011

Almacenamiento
Subterráneo de H_2



Desde 2010

Parque Eólico Diadema I

2011 – 6,3 MW



- ✓ 7 Aerogeneradores
- ✓ Potencia nominal: 900 kW
- ✓ Factor de Capacidad Neto: 49,0% (2012-2020)
- ✓ Disponibilidad: 96,2% (2012-2020)

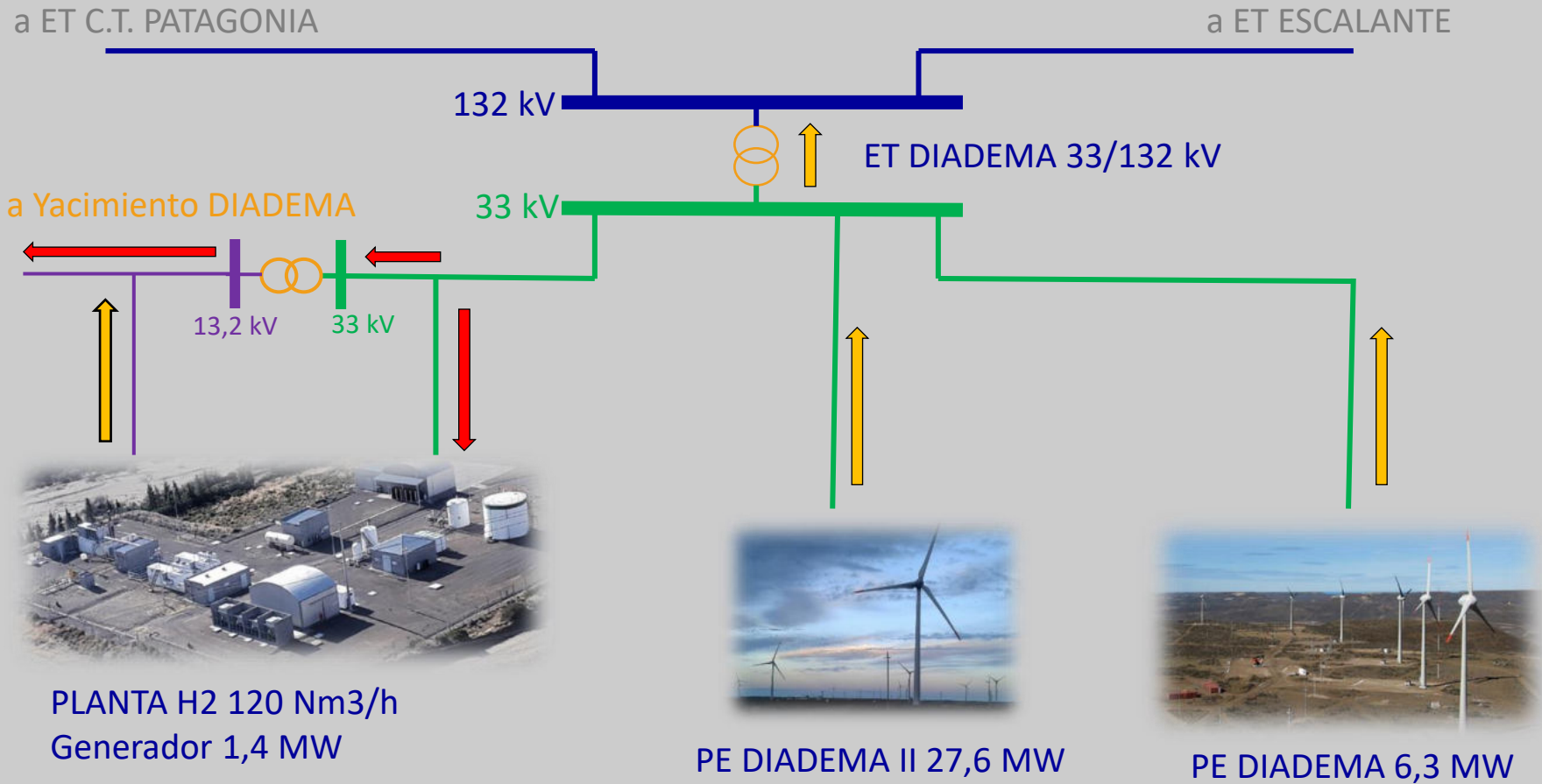
Parque Eólico Diadema II

2019 - 27,6 MW



- ✓ 9 Aerogeneradores
- ✓ Potencia nominal: 3070 kW
- ✓ Factor de Capacidad Neto esperado: 51,4%
- ✓ Disponibilidad: 98,8% (2019 - 2021)

Esquema Conexión Eléctrica



→ Energía generada: Parques eólicos y generador (Gas + H2)

→ Energía consumida: Operaciones Yacimiento + Planta H2

Planta de Hidrógeno y Oxígeno

Motogenerador
1,4 MW

Buffer de
Hidrógeno

Electrolizadores
120 Nm³/h H₂
60 Nm³/h O₂

Compresor
de Oxígeno

Despacho de
Oxígeno

Gas de
Yacimiento

Purificadores
de Oxígeno

Sala de Control
- SCADA -

Buffer
de Oxígeno

2009

Operación de Electrolizadores



- Tecnología de electrolizadores: Alcalina
- Capacidad de producción: $120 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2 / \text{h}$ - $60 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2 / \text{h}$
- Consumo específico: $4,1 - 4,6 \text{ kWh} / \text{Nm}^3 \text{ H}_2$
- Rango de Operación: 18 al 100 %
- Ensayos de fluctuaciones de potencia: Instalación de una Interfaz de Control y simular curvas de potencia de aerogeneradores

Generación Eléctrica con Gas Natural e Hidrógeno



- 0-42 % H₂ - Mezcla con Gas de Yacimiento
- Eficiencia Térmica Promedio: 40 %
- Importantes reducciones de CO₂, CO y NO_x
- Más de 90.000 hs. de operación
- Sin evidencia de ataque por hidrógeno en metales

Planta de Hidrógeno

Resumen de Operación

Resultados (2009 – 2021)

Producción de H_2 : $\sim 2.700.000 \text{ Nm}^3$



Combustible para ~ 7 vueltas a la Tierra
de una flota de 10 buses a H_2

Comercialización de O_2

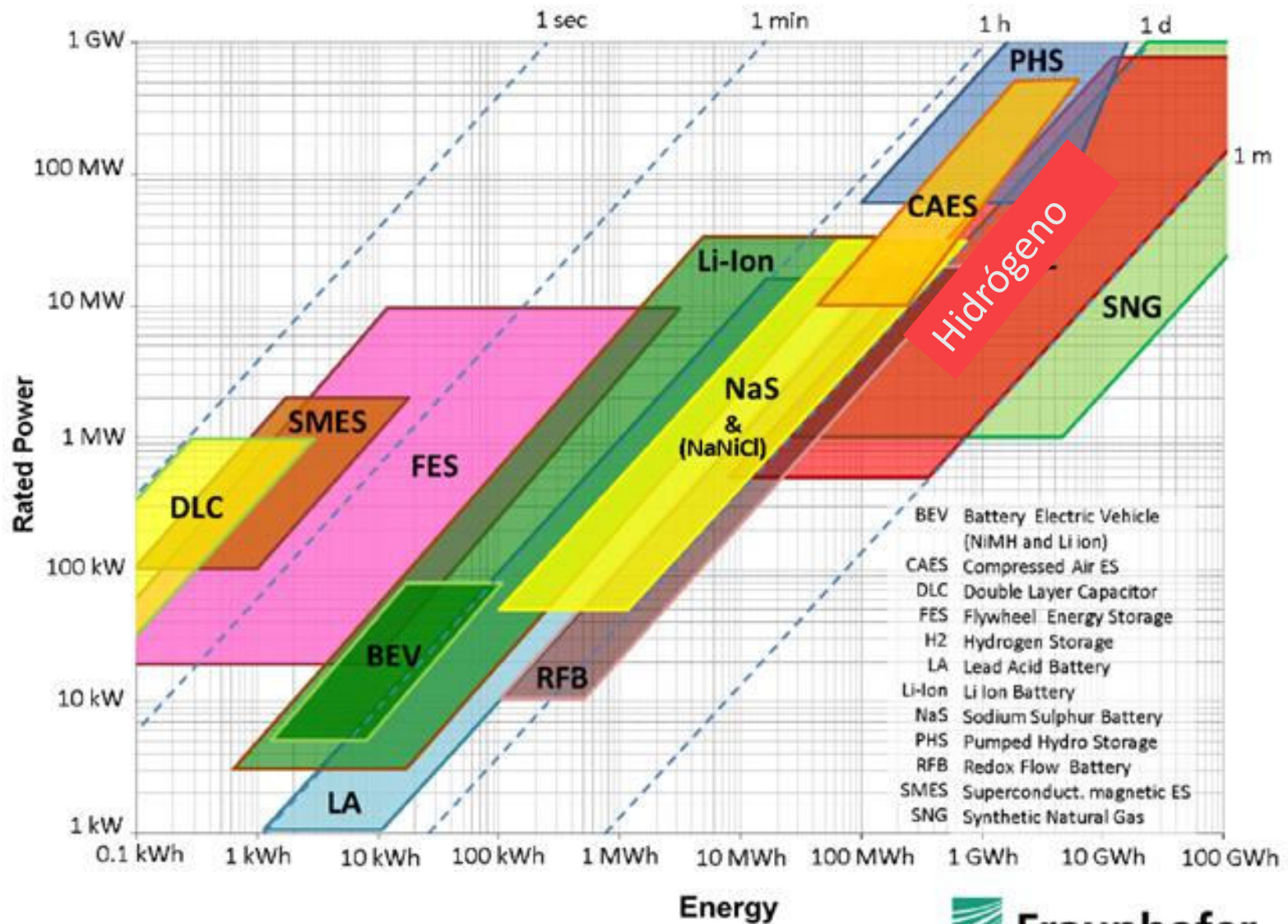


+ $1.000.000 \text{ Nm}^3$

Generación: $\sim 90.000 \text{ MWh}$



Almacenamiento de Energía

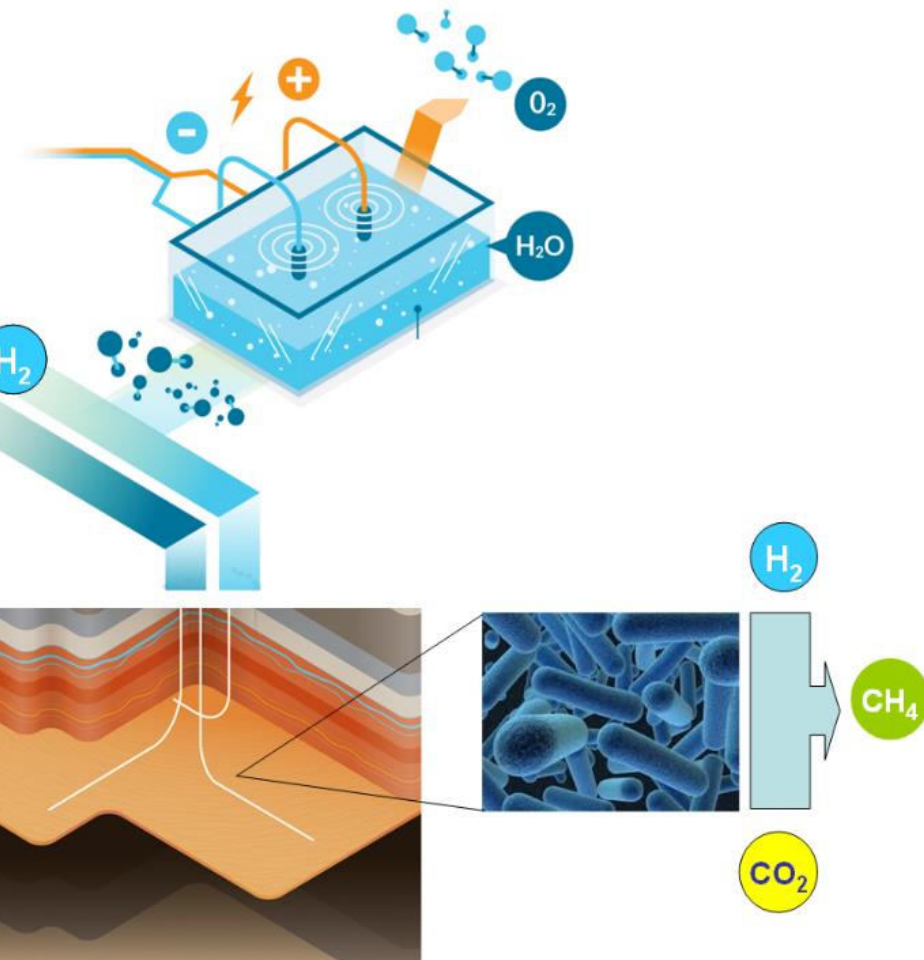


- BEV Battery Electric Vehicle (NiMH and Li ion)
- CAES Compressed Air ES
- DLC Double Layer Capacitor
- FES Flywheel Energy Storage
- H2 Hydrogen Storage
- LA Lead Acid Battery
- Li-Ion Li Ion Battery
- NaS Sodium Sulphur Battery
- PHS Pumped Hydro Storage
- RFB Redox Flow Battery
- SMES Superconduct. magnetic ES
- SNG Synthetic Natural Gas

Almacenamiento de Energía

Visión de Proyectos

- Almacenamiento: fuente de energía contra-cíclica
- Generación eléctrica: mezclas H_2 + gas natural
- Metano “Verde”
Por vía biológica



Contenido

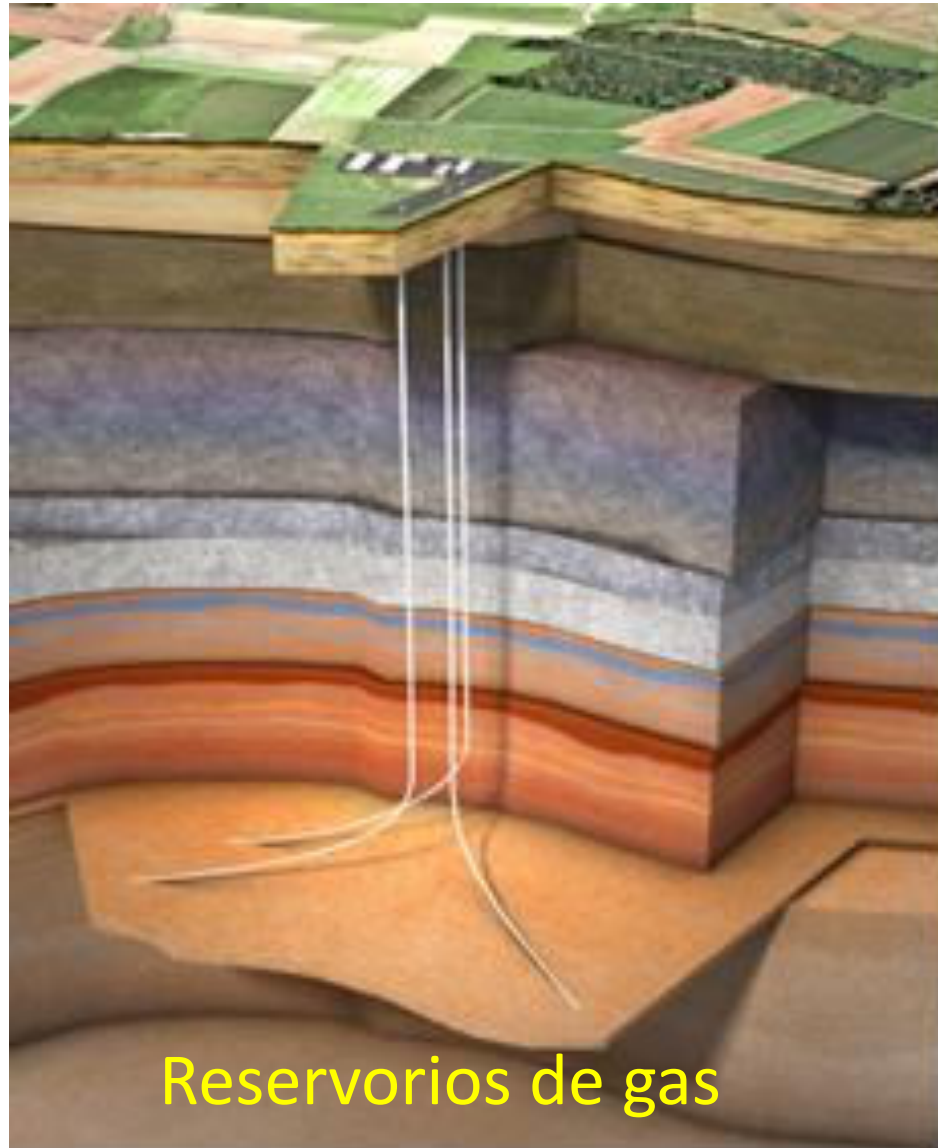
1 ¿Quiénes Somos? Nuestra visión y el contexto mundial

2 Hidrógeno - Instalaciones Hychico

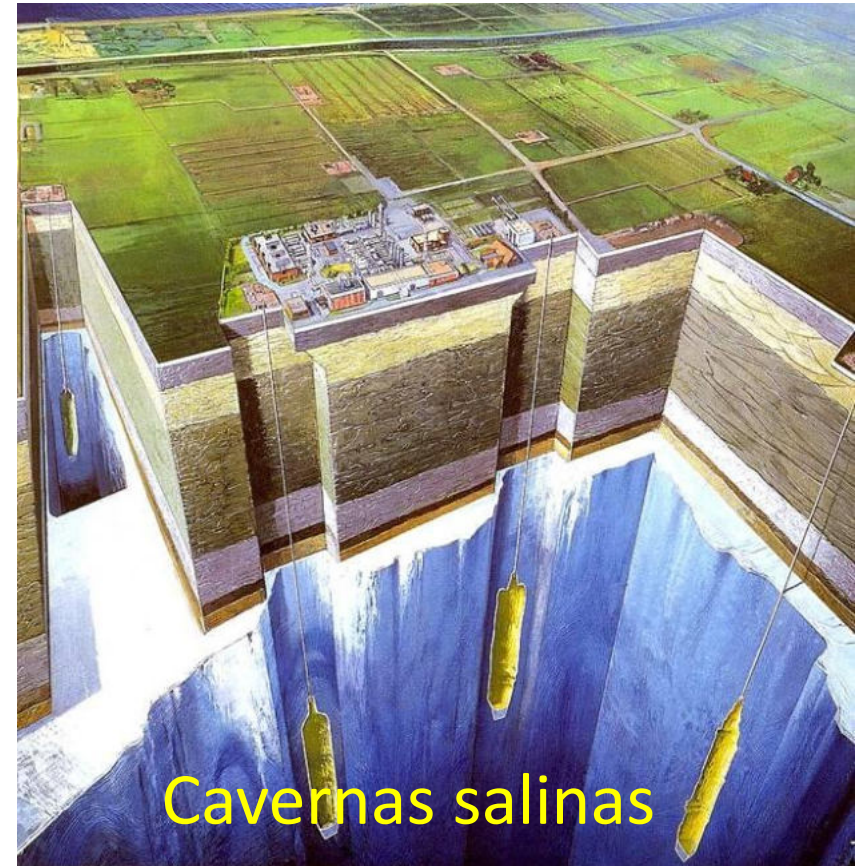
4 Almacenamiento subterráneo de Hidrógeno

3 Conclusiones

Almacenamientos Subterráneos



Fuente: www.hyunder.eu



Almacenamiento Subterráneo de H₂



Hitos del Proyecto:

- 2010:
Inicio estudios geológicos y de superficie.
- 2014:
Estudio Impacto Ambiental y Audiencia Pública.
- 2015:
Construcción de un hidrogenoducto.
- 2016
Comienzo con la inyección de H₂

Almacenamiento Subterráneo de H₂



El pozo de gas depletado F-160 fue el elegido para el Proyecto piloto.

Características del Reservorio:

- *Hte Glauconítico.*
- *Profundidad: 815 mbbp.*
- *Porosidad: 25 %*
- *Permeabilidad: 300-500 mD*
- *Volúmen Poral: 102,000 m³*
- *Área: 16 Has*
- *Temperatura: 55 °C*

Condiciones Originales:

- *Presión Estática: 25 bar*
- *Saturación Agua: 55 %*
- *Saturación Gas: 45 %*



Aspectos Geológicos:

Formación: Salamanca

Miembro: Glauconítico

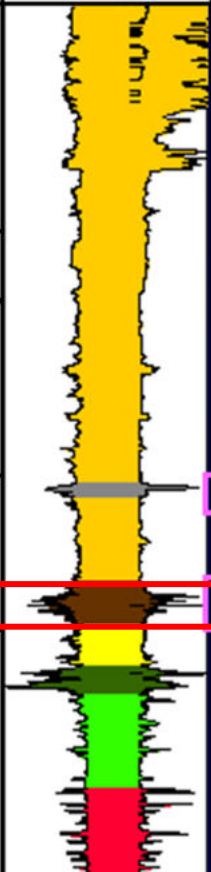
Edad de depositación: Época Paleoceno, periodo Terciario

Origen y Características:

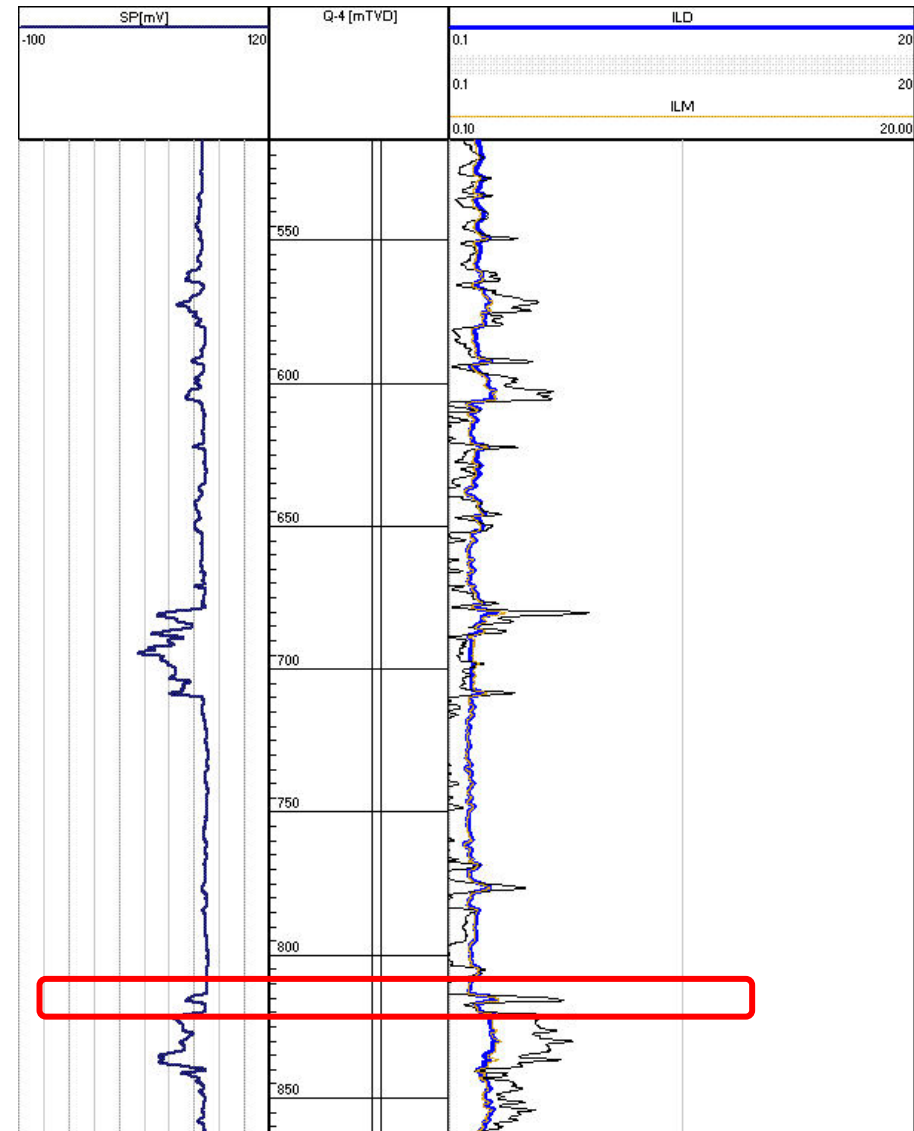
- Depósito de origen marino de amplio desarrollo y distribución areal en toda la Cuenca del Golfo San Jorge.
- Se lo considera un horizonte guía.
- Su espesor es variable dependiendo de la ubicación.
- Tipo de roca (valores promedio):

Roca	Roca Total							Fraccion Arcilla			
	Cuarzo	Feldespato potasico	Plagioclasas	Arcillas	Carbonato	Dolomita	Siderita	Esmectita	Ilita-Esmectita	Illita-Mica	Caolinita
Reservorio	65%	6%	13%	10%	2%	2%	2%	28%	10%	12%	50%
Sello	33%	3%	25%	38%				80%	5%	10%	5%

Perfil geológico tipo:

Unit		Sub-Unit
Patagonia		
Sarmiento		
Río Chico		
Salamanca		Banco Verde Fragmentos Shales
		Glauconitic
El Trébol		Continental Beds
		Interm. Zone A
		Up. Garnet Zone
		Interm. Zone B

Perfil pozo F-160:



Almacenamiento Subterráneo de H₂



Aspectos considerados en la selección:

Pozo:

- Ex-productor de gas con instalación existente, relativamente nuevo y en buenas condiciones mecánicas.

Ubicación:

- Cercanía con la Planta de H₂ (2,300m).
- Lejanía de centros urbanos.
- Dentro de zona de explotación petrolera, cuenta con red de servicios auxiliares y de seguridad.
- Ausencia de otros pozos que atraviesen el mismo reservorio.

Geología:

- Cuerpo arenoso con un cierre estratigráfico y una columna de mas de 100 m de roca sello de muy baja permeabilidad.
- Reservorio somero (800 mbbp) de una sola capa.
- Volumen efectivo de almacenamiento reducido compatible con la escala de piloto (600 Mm³).
- Buena petrofísica de la roca (porosidad y permeabilidad.)

Instalaciones Superficie



Planta H2

Hidrogenoducto

Planta H₂-Pozo

Provisión de
Hidrógeno ~
10 bar en
Cabecera

2,3 Km

Generación

Gasoducto Plta Generación-Pozo

Provisión de gas
en alta presión ~
35 bar en
Cabecera

1,5 Km

F-160

Fases del Proyecto:

Fase I:

Confirmar el volumen del almacenamiento y la hermeticidad del reservorio e instalaciones al H_2 y a la presión máxima de 25 bar.

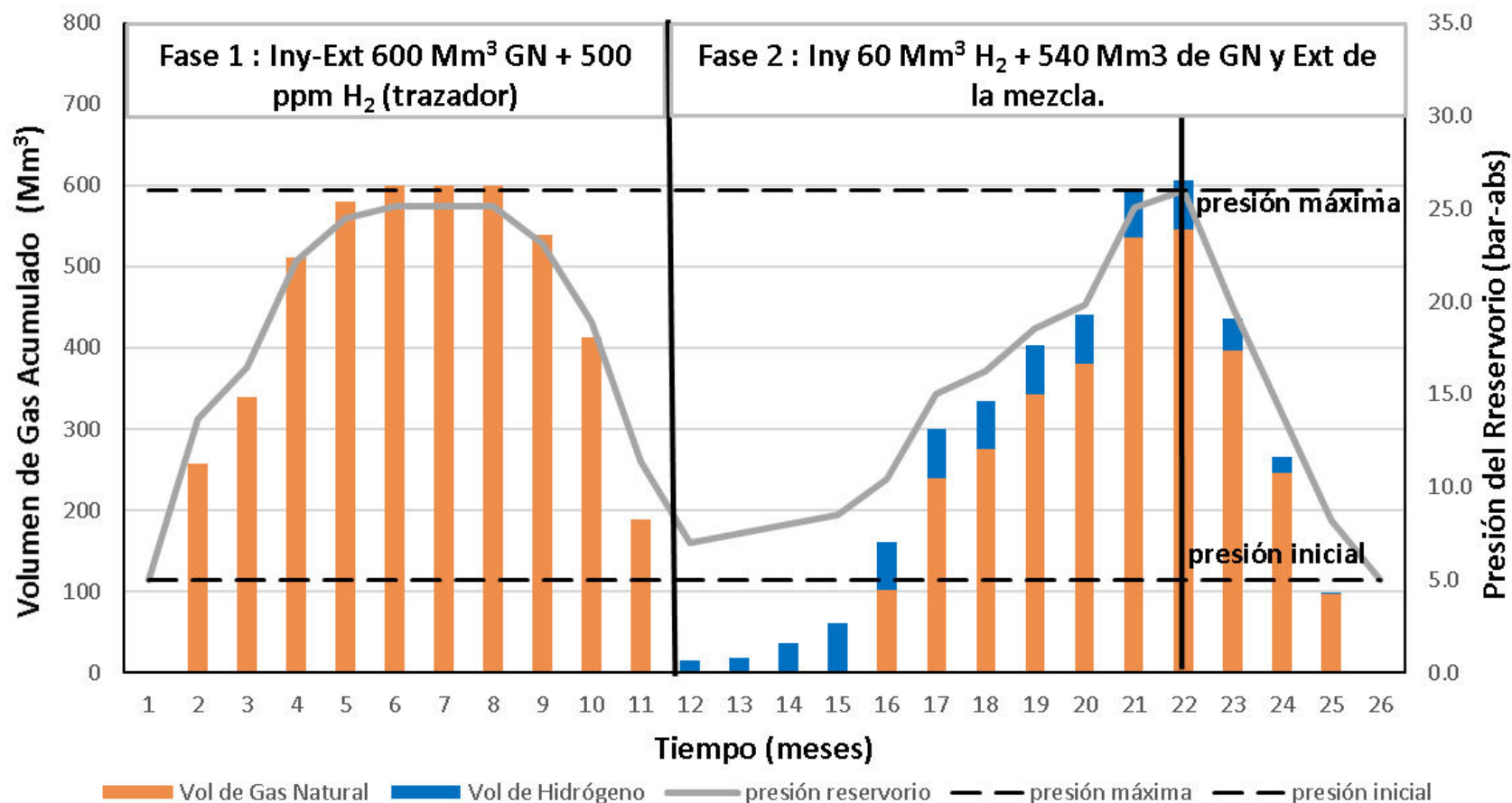
- Un ciclo de inyección-extracción de 600 Mm³ de gas desde la presión inicial de 5 bar hasta la presión máxima del reservorio de 25 bares.
- Agregado de H_2 en batches de 500ppm como trazador, para detectar posibles fugas de acuerdo a un plan de monitoreo establecido.

Fase II:

Analizar el comportamiento del reservorio frente a posibles cambios en las propiedades del mismo y el gas producido, con de una mezcla 90 % de gas y 10% de hidrógeno

- Inyección inicial de 60 Mm³ de hidrógeno y 540 Mm³ de gas desde la presión inicial de 5 bar hasta completar los 600 Mm³ a 25 bar.
- La proporción de la mezcla 10% H_2 -90% gas por razones de seguridad de los materiales de las instalaciones (pozo).

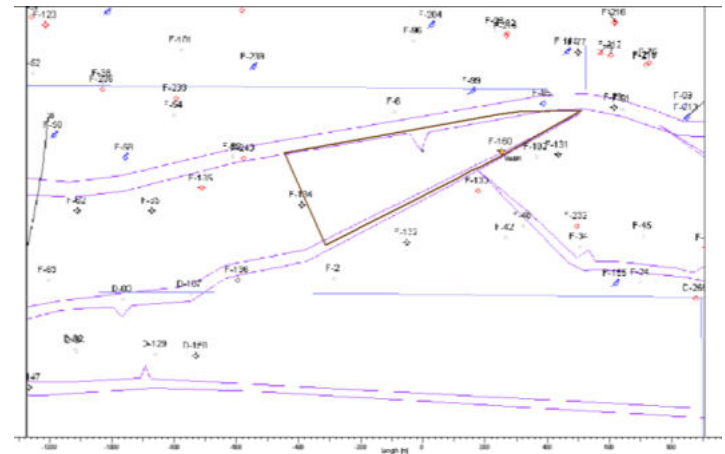
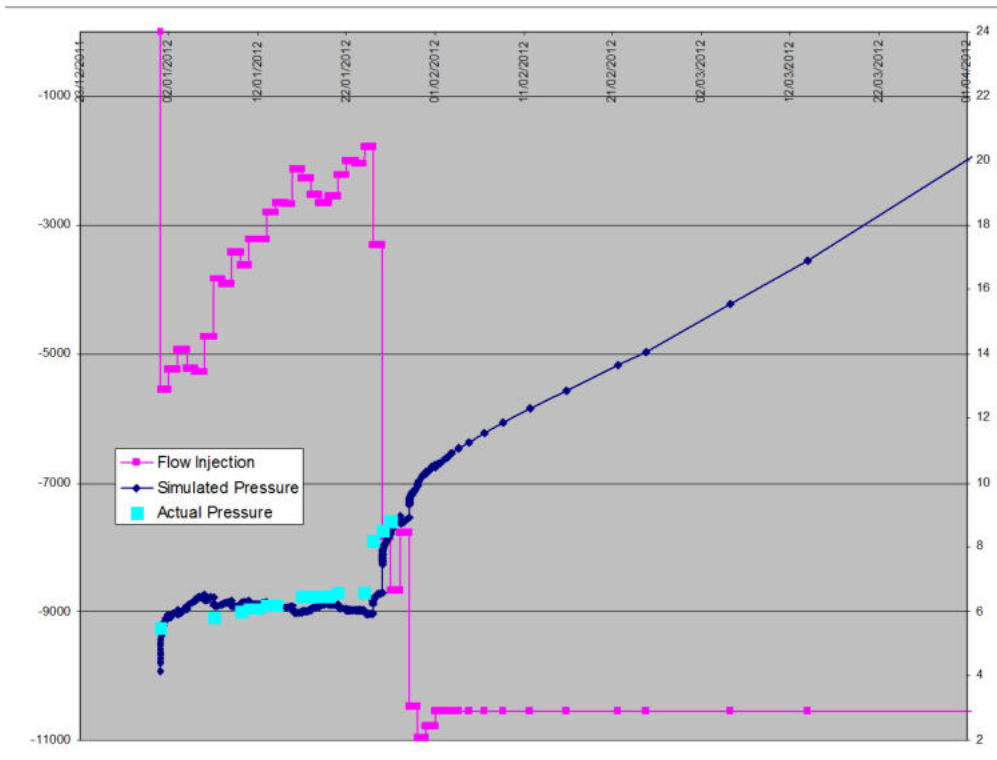
Cronología Fases del Proyecto



Controles y Monitoreo:

Simulación

Ajustar parámetros de reservorios para lograr el matcheo entre los volúmenes de gas (inyectado y extraído) con las presiones medidas.
Modelo de reservorio homogéneo de gas con limites cerrados de una sola capa.



Programa de Monitoreo de H₂

Detectar posibles microfugas de H₂ en la superficie con previa medición de la “Línea base”.

- Monitoreo del suelo con muestreadores contruidos a tal fin.
- Monitoreo de instalaciones cercanas (pozos cercanos).
- Valores promedio obtenidos en el terreno < 10 ppm
- Valores en instalaciones cercanas < 150 ppm
- Valores de Referencia:
 - Concentración normal en el aire: 0.5-2 ppm
 - Limite inferior de inflamabilidad del H₂ > 4% (40,000 ppm)

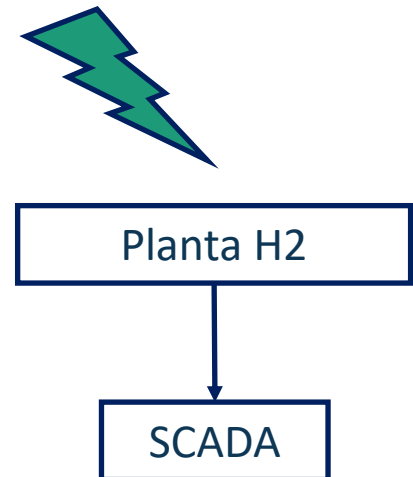
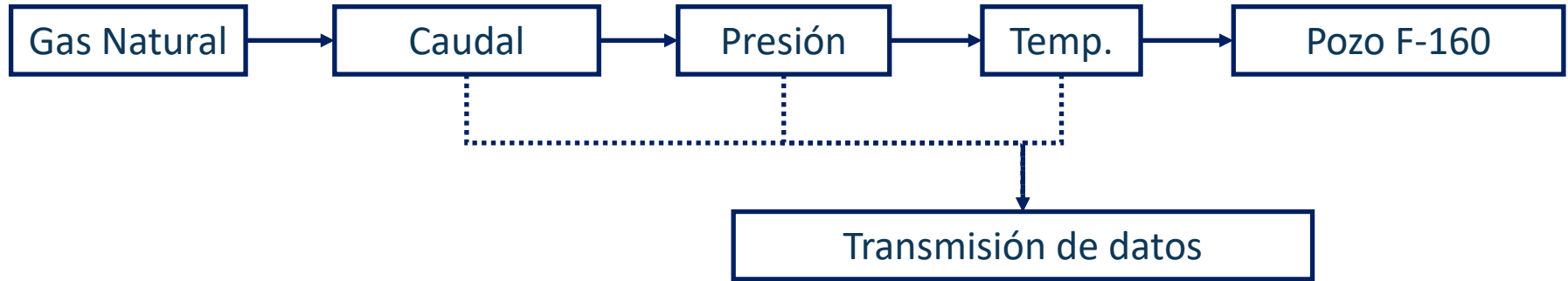
Programa de Monitoreo de H₂



H₂ Detector sensitivity: 0.5 ppm

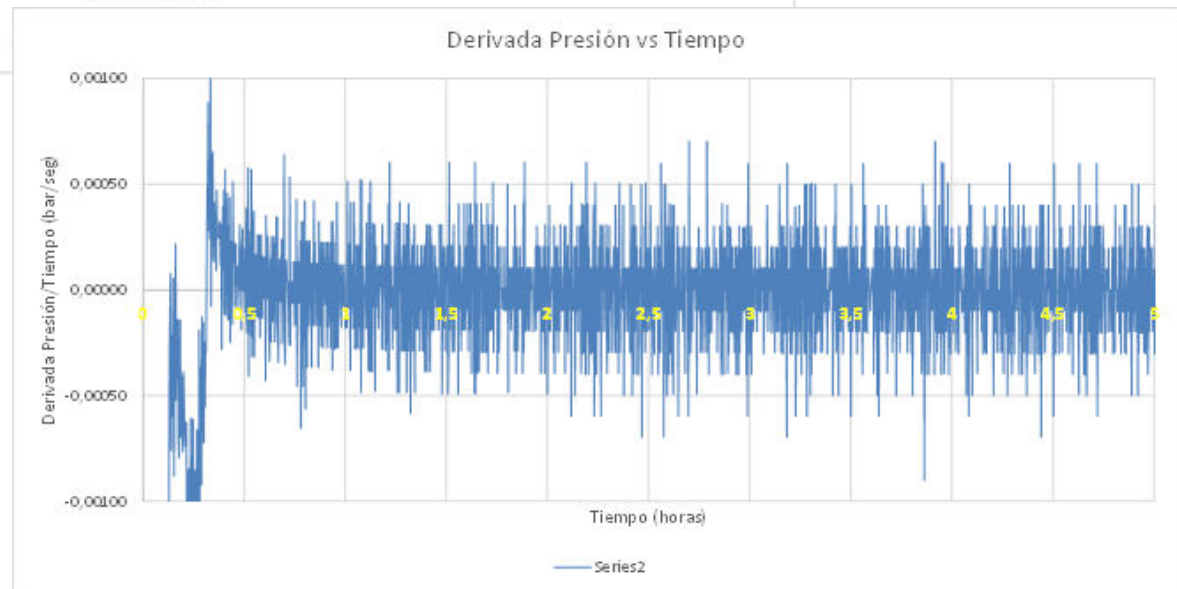
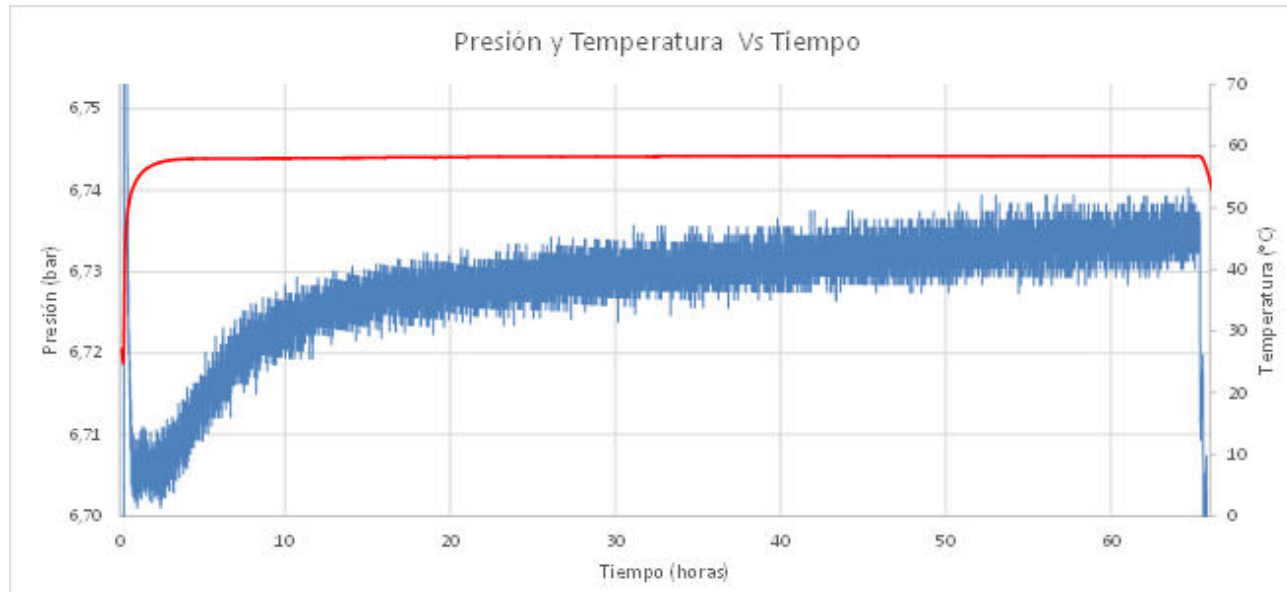


Programa de Monitoreo: Sistema de Medición



Programa de Monitoreo:

Registro continuo de presión en fondo pozo cerrado y gradientes estáticos de presión a intervalos regulares.



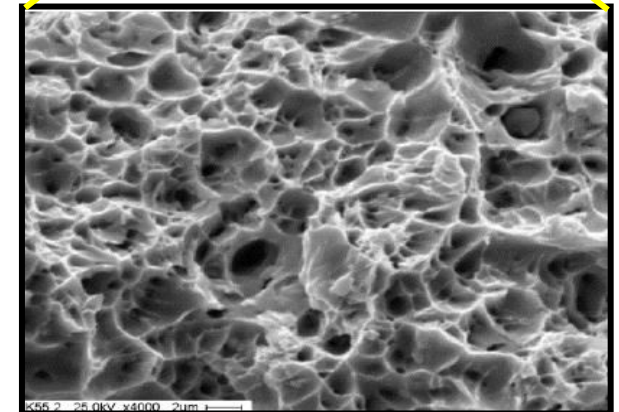
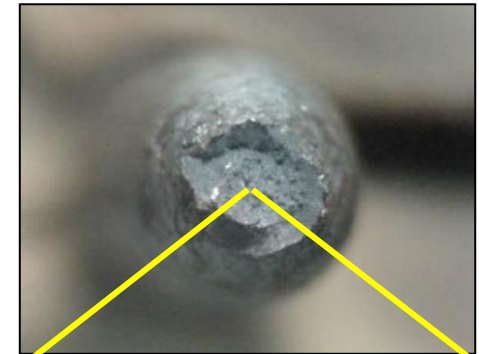
Programa de Ensayo de Materiales

Materiales:

- Stainless Steel: 304 L, 306 L
- Oil & Gas materials: tubing (J55), casing (K55), pipeline (X42)
- Polymeric materials: polyethylene
- Cement

Tests:

- Mechanical Properties:
 - Tension Testing (ASTM E8/E8M)
 - Charpy Impact Testing (ASTM E23)
 - SEM microscopy
- Hydrogen permeation



Antecedentes Internacionales



Proyecto HyUnder: Evaluación del potencial, los actores y los modelos de negocios a gran escala del ASH2 en Europa.

- **Infraestructura: cañerías de polímero.**
- **Compañías: intercambio de experiencias.**
- **Centros R&D: almacenamiento de H₂ en reservorios depletados de gas.**
- **Proyecto de metanogénesis controlada subterránea.**

Metano “verde”

Concepto:

- **Porqué producir metano?**

- El metano puede ser usado a mayor escala que el hidrógeno.
- El manejo y almacenamiento del metano en reservorios geológicos es bien conocido y por lo tanto mas fácil que para el hidrógeno.

- **Pero...**

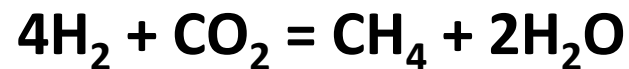
- La producción del metano a partir de H_2 y CO_2 con la tecnologia existente (e.g. metanación) puede ser relativamente cara y solo para pequeños volúmenes.

- **El Proyecto está dirigido a:**

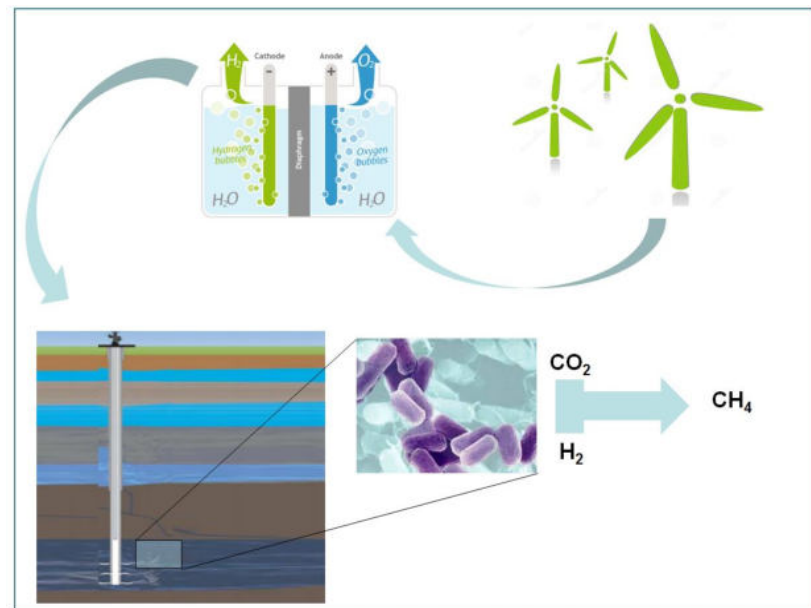
- Evaluar el potencial de los reservorios depletados de gas para sostener la metanogenesis biológica a partir de H_2 y CO_2 a fin de lograr una transformacion sustentable y económica del gas a gran escala.

¿Qué es?

- **Metanogénesis:** es una reacción natural que ocurre en ambientes profundos producida por microorganismos (Archean) que actúan generando metano según la reacción:

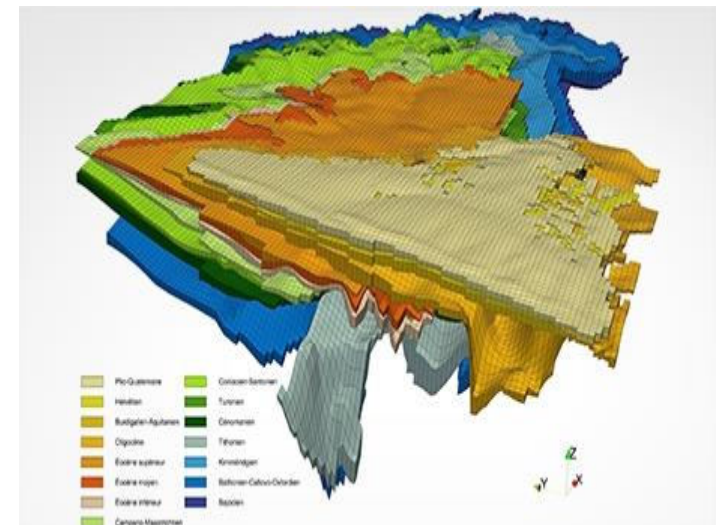


- Requiere condiciones específicas de temperatura, presión, pH, composición del agua ...etc.



El Proyecto

- Tests en condiciones reales: uso de bioreactores y celdas de alta presión.
- Seguimiento e interpretación de lo que ocurre durante la inyección de hidrógeno en el sitio del piloto.
- Evaluación y predicción de la geoquímica del sistema para distintas condiciones.
- Establecer los fundamentos de un nuevo proceso basado en esa tecnología.



Pruebas en laboratorio :

- Análisis de muestras de agua y de la roca extraídas del reservorio.
- Ensayos y cultivos de diversidad microbiana para diferentes condiciones.

Resultados:

- Se confirmó la **producción de metano y la contribución de la roca en test de cultivos** contra blancos.
- Se observaron **efectos de superficie asociados** con la mineralogía de la roca, reacciones redox y otros procesos.

Pruebas en Campo

- Se confirmó la metanogénesis, observando un claro **aumento de la proporción de metano** y la **disminución del H_2 y del CO_2 inyectados**.
- También se observó la producción de otros gases en menor proporción (**etano y propano**).

Desafíos Tecnológicos:

- Entender cuáles son las **condiciones límite**.
- Controlar la **difusión, pérdida y segregación en el reservorio** de los reactantes y los productos generados.
- Evaluar y modelar la **cinética del sistema**.

Contenido

1 ¿Quiénes Somos? Nuestra visión y el contexto mundial

2 Instalaciones Hychico - Planta Hidrógeno

3 Proyectos Hidrógeno

4 Conclusiones

Desafíos y Conclusiones



- ❑ Luego de **10 años de experiencia**, se seguirá adquiriendo Know-how en generación eólica, solar, y tecnologías de Hidrógeno.
- ❑ La producción de Hidrógeno “verde” para abastecer mercados locales e internacionales se presenta como una gran oportunidad para la región dado sus recursos sobresalientes (radiación solar, viento, etc.)
- ❑ El almacenamiento subterráneo de H_2 se presenta como una alternativa técnica y económicamente muy competitiva respecto a otras opciones de almacenamiento masivo de energía.
- ❑ La utilización de reservorios “depletados” de gas para almacenar H_2 presenta una gran sinergia entre industrias y tecnologías, permitiendo el acople de las energías renovables en la transición energética.
- ❑ Además de los desafíos tecnológicos, es necesario trabajar en conjunto con el fin de lograr **Leyes y Reglamentaciones** que permitan asegurar una **transición energética armoniosa** entre los diferentes sectores.

¡MUCHAS GRACIAS!

¿Preguntas?



Contactos

eduardo.perez@grupocapsa.com.ar
rperez@grupocapsa.com.ar