



# 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

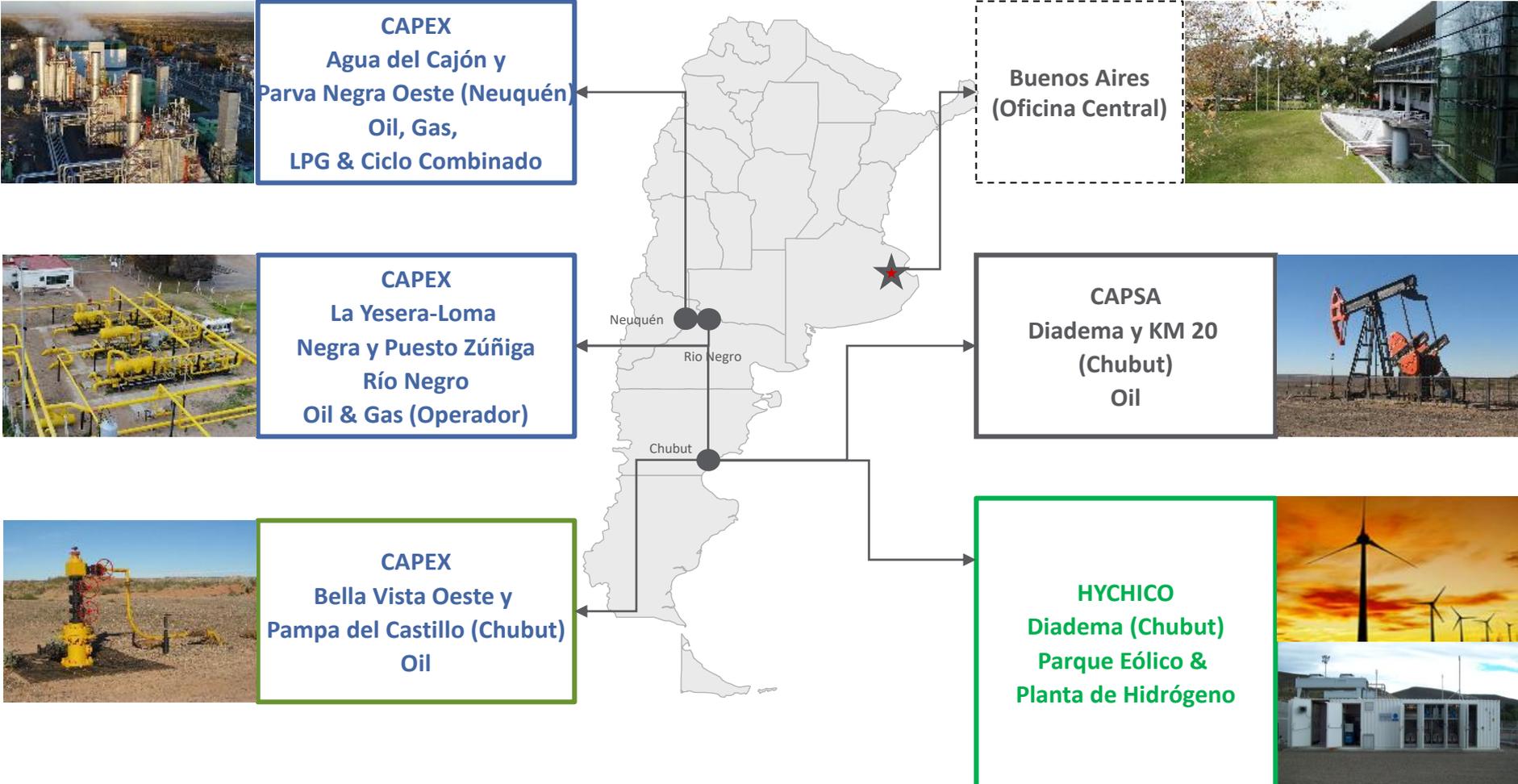
3

Almacenamiento subterráneo de Hidrógeno

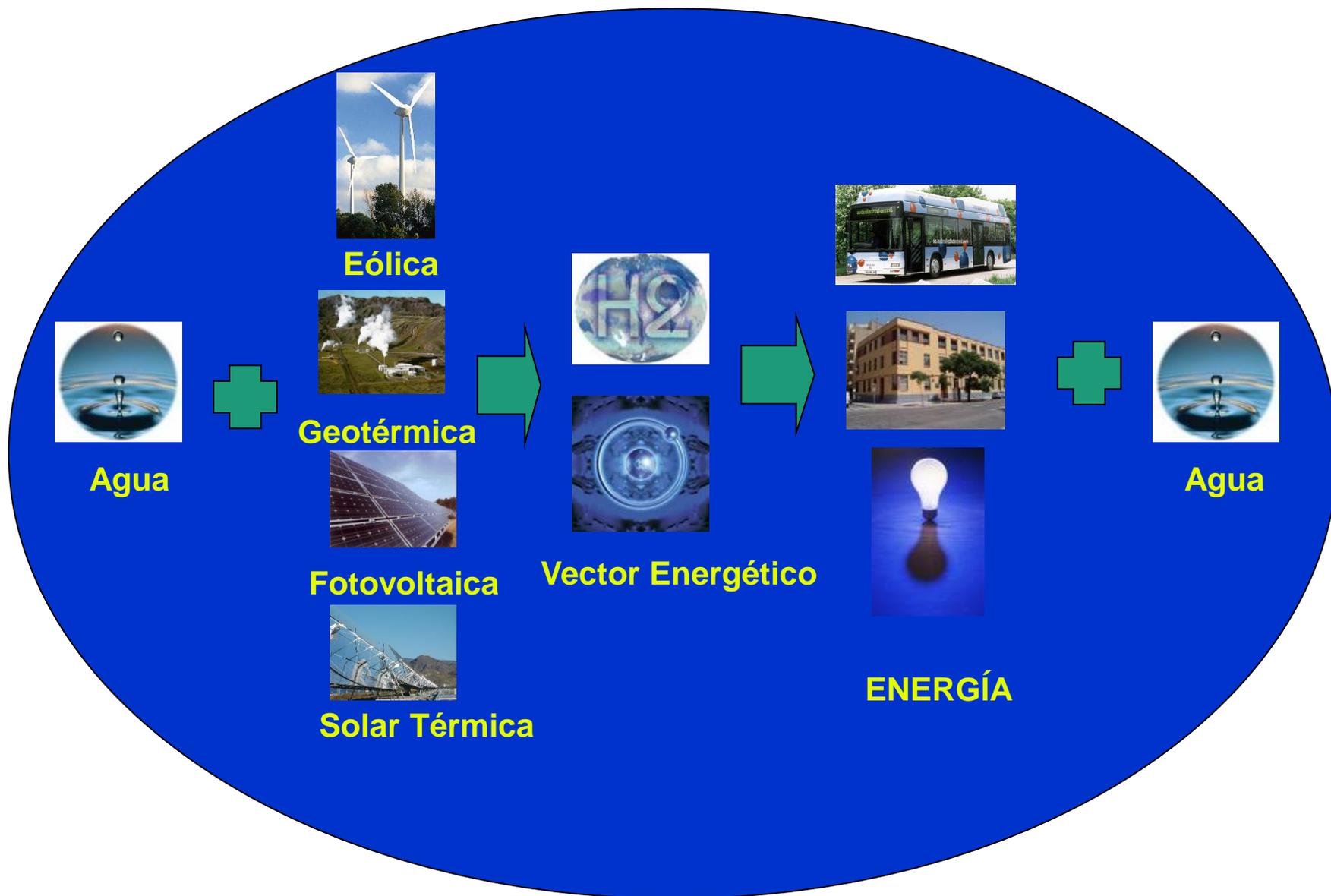
4

Conclusiones

# Grupo Energético CAPSA-CAPEX



# H<sub>2</sub> y Desarrollo Sostenible





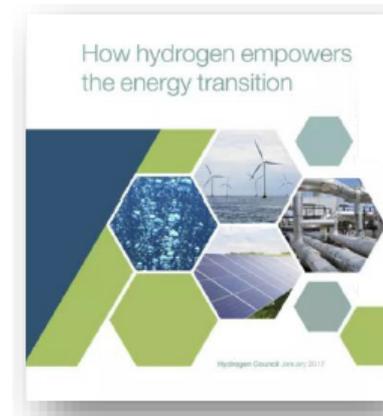
# Escenario 2050

**18%**  
Demanda  
Final de  
Energía

**6 Gt**  
Disminución  
Emisiones  
Anuales CO2

**\$2.5 t**  
Ventas  
Anuales

**30 MM**  
Empleos  
Creados



**Hydrogen Council**

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

# Contenido

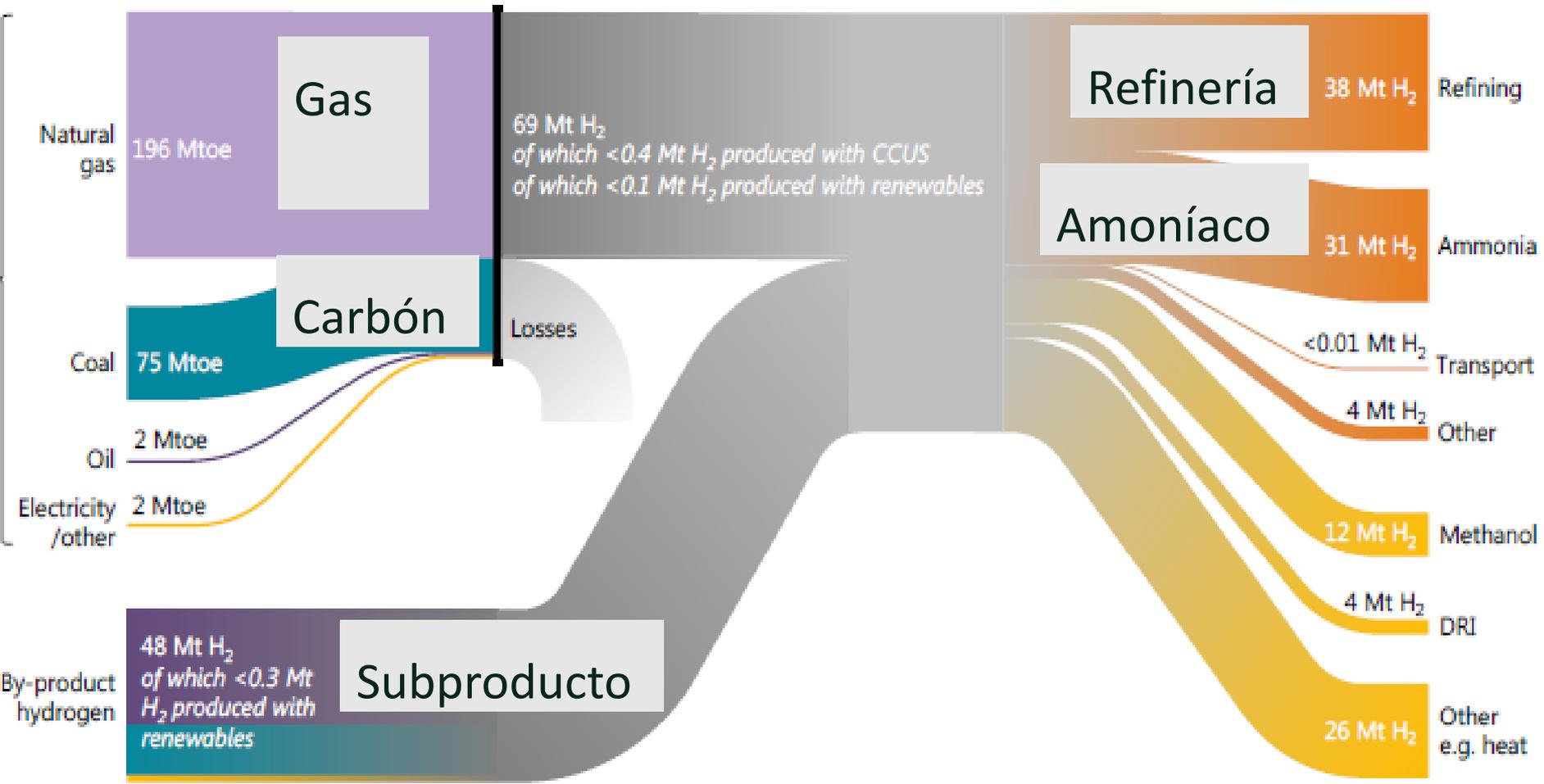
1 ¿Quiénes Somos? Nuestra visión y el contexto mundial

2 Hidrógeno - Instalaciones Hychico

3 Almacenamiento subterráneo de Hidrógeno

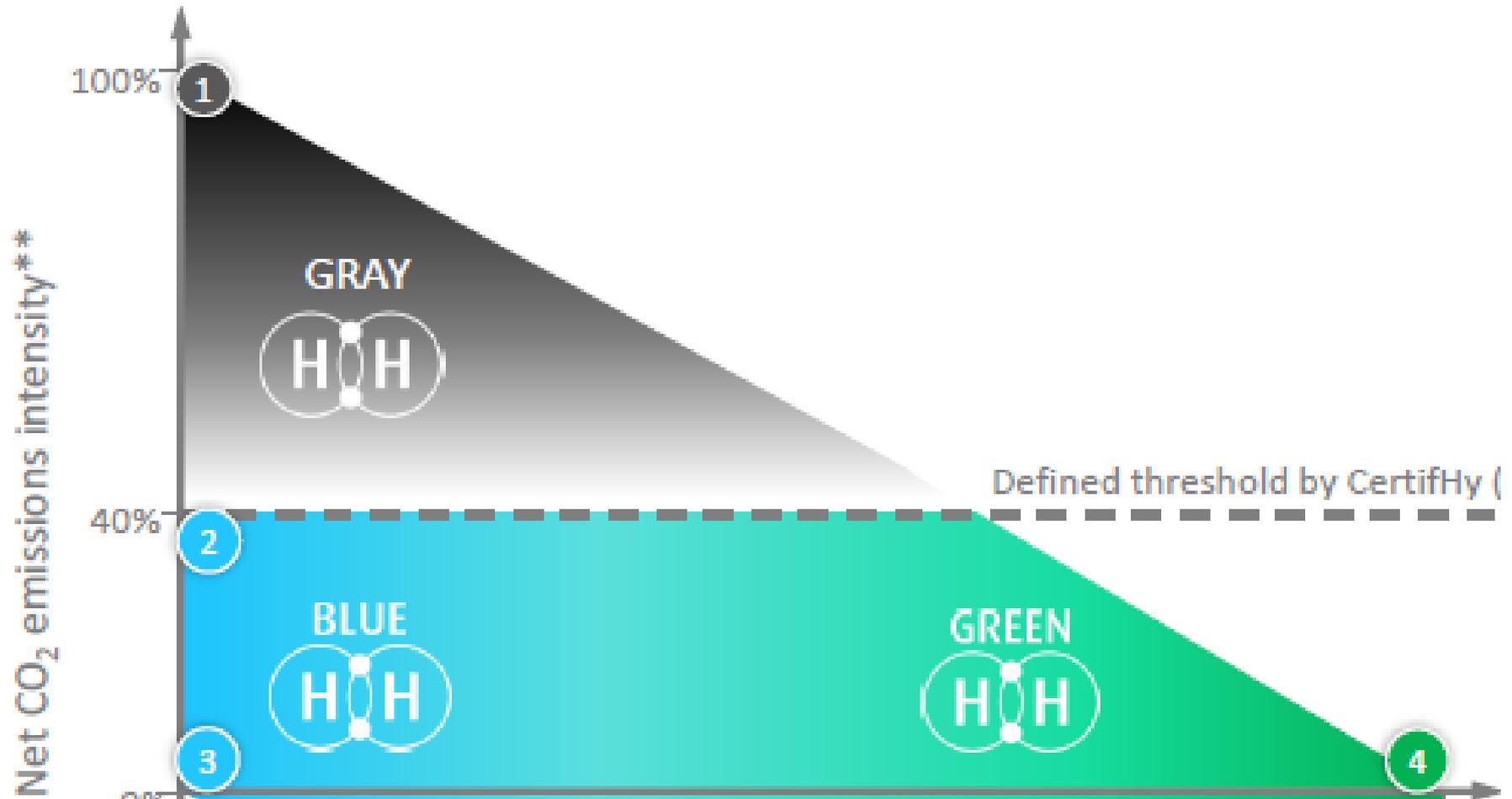
4 Conclusiones

# El H<sub>2</sub> en la actualidad



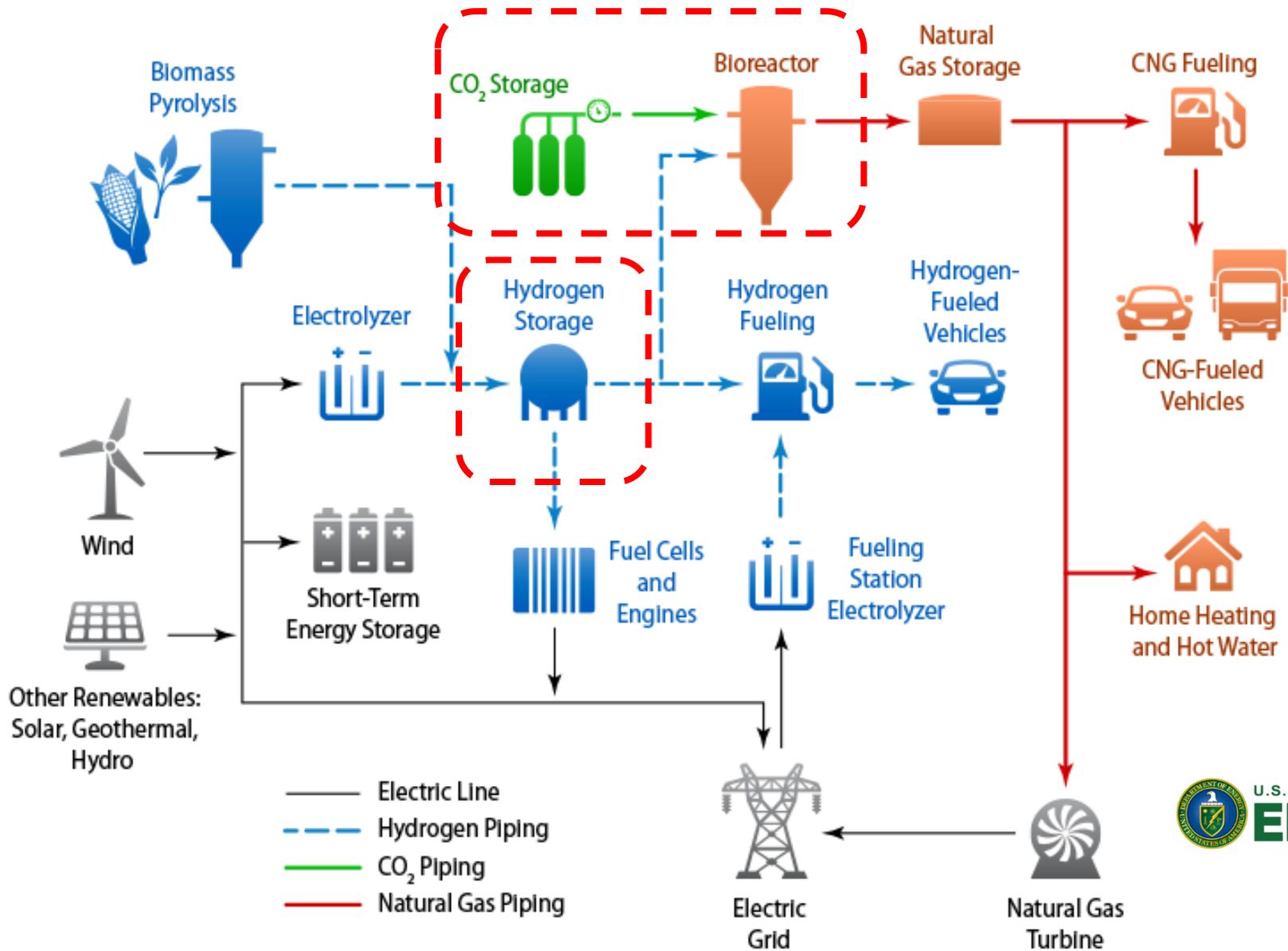
Fuente: reporte IEA 2019 "The Future of H<sub>2</sub>"

# “Colores” del Hidrógeno



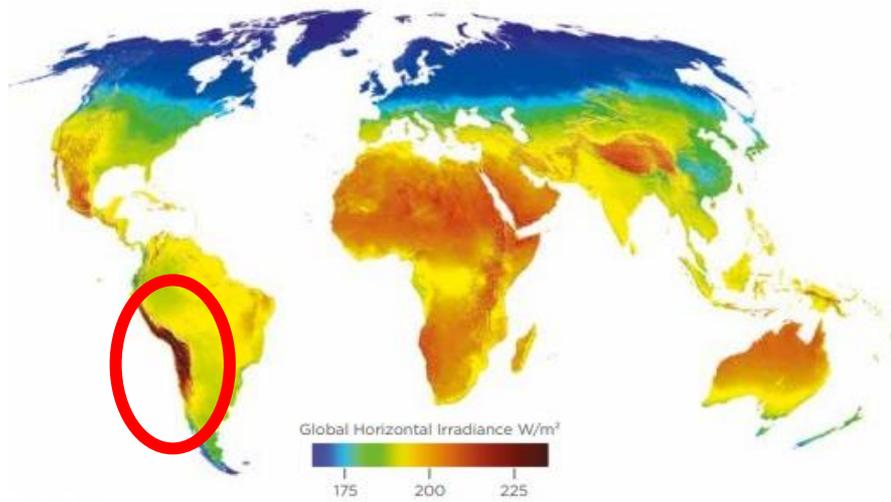
Fuente: [www.certifhy.eu](http://www.certifhy.eu)

# “Acoplamiento de Sectores”

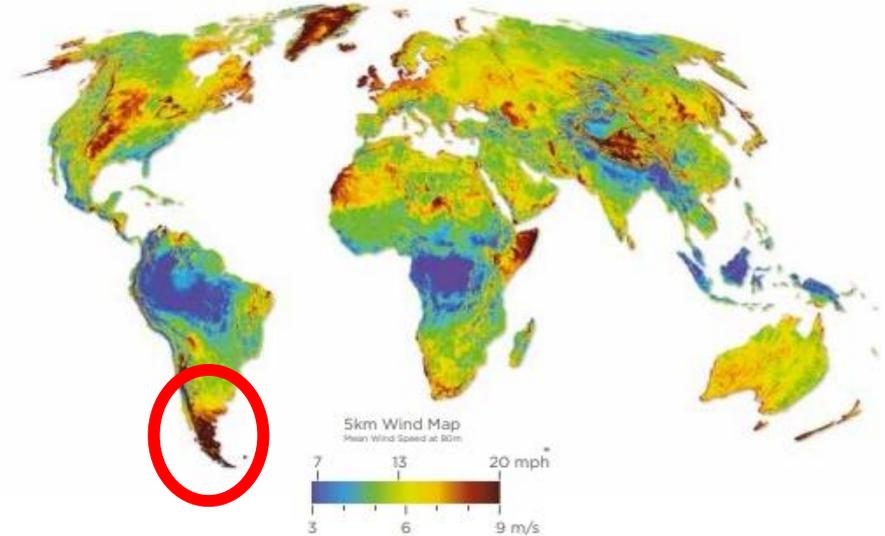


# Aspectos técnico-económicos

## Mapas de Recursos Renovables



Radiación Solar



Mapa eólico

Fuente: [www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)

# Aspectos técnico-económicos

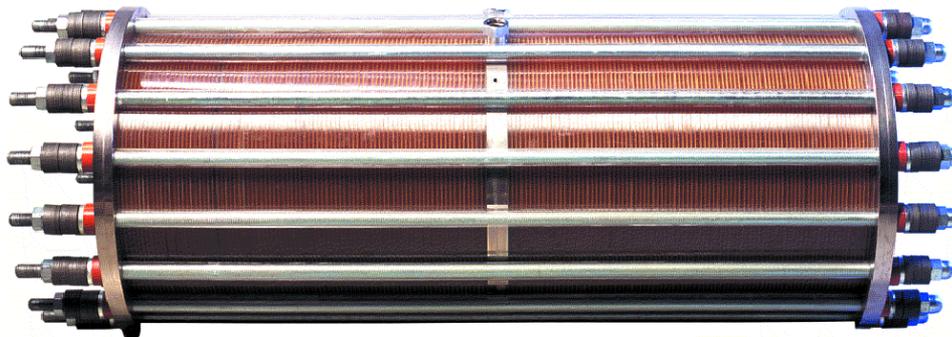
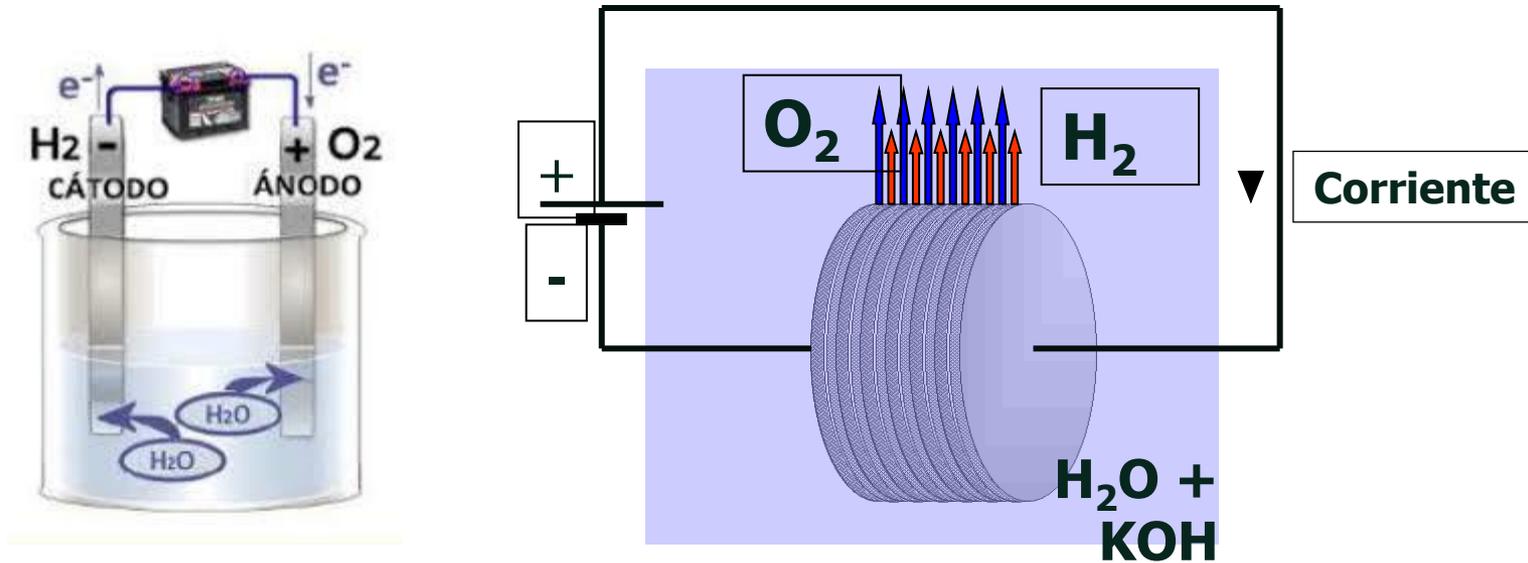
Estimación de costos de H<sub>2</sub>  
“verde” @2030



Source: IEA

# Producción de H<sub>2</sub>

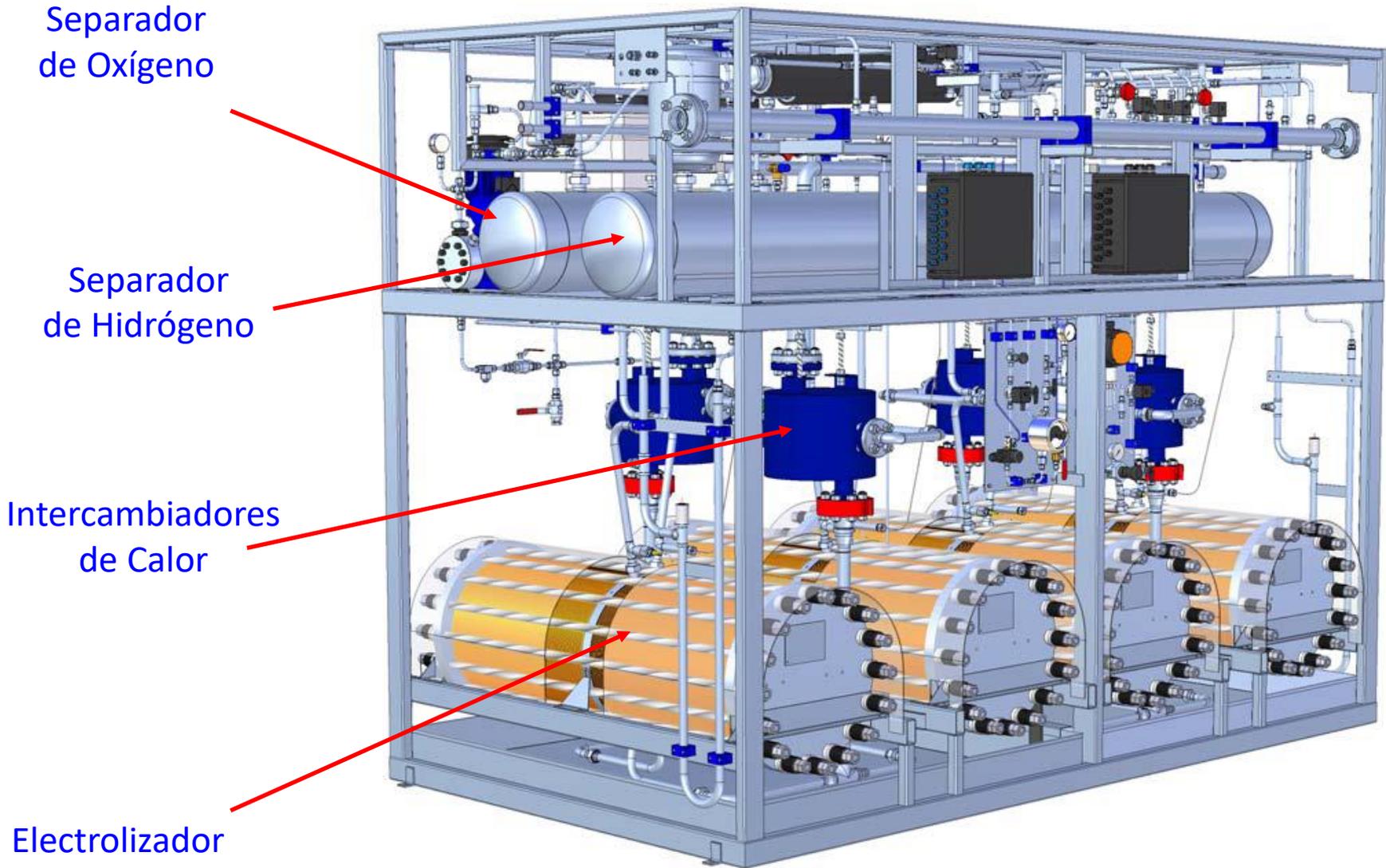
## PRINCIPIOS DE ELECTRÓLISIS DEL AGUA



90 celdas

15 Nm<sup>3</sup>/hr

# Electrolizador Industrial



# Instalaciones Diadema



Argentine Petroleum Section

Desde 2009

Planta de H<sub>2</sub>: 120 Nm<sup>3</sup>/h H<sub>2</sub>



Parque eólico I: 6.3 MW  
Parque eólico II: 27.6 MW



Desde 2011

Almacenamiento  
Subterráneo de H<sub>2</sub>



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)

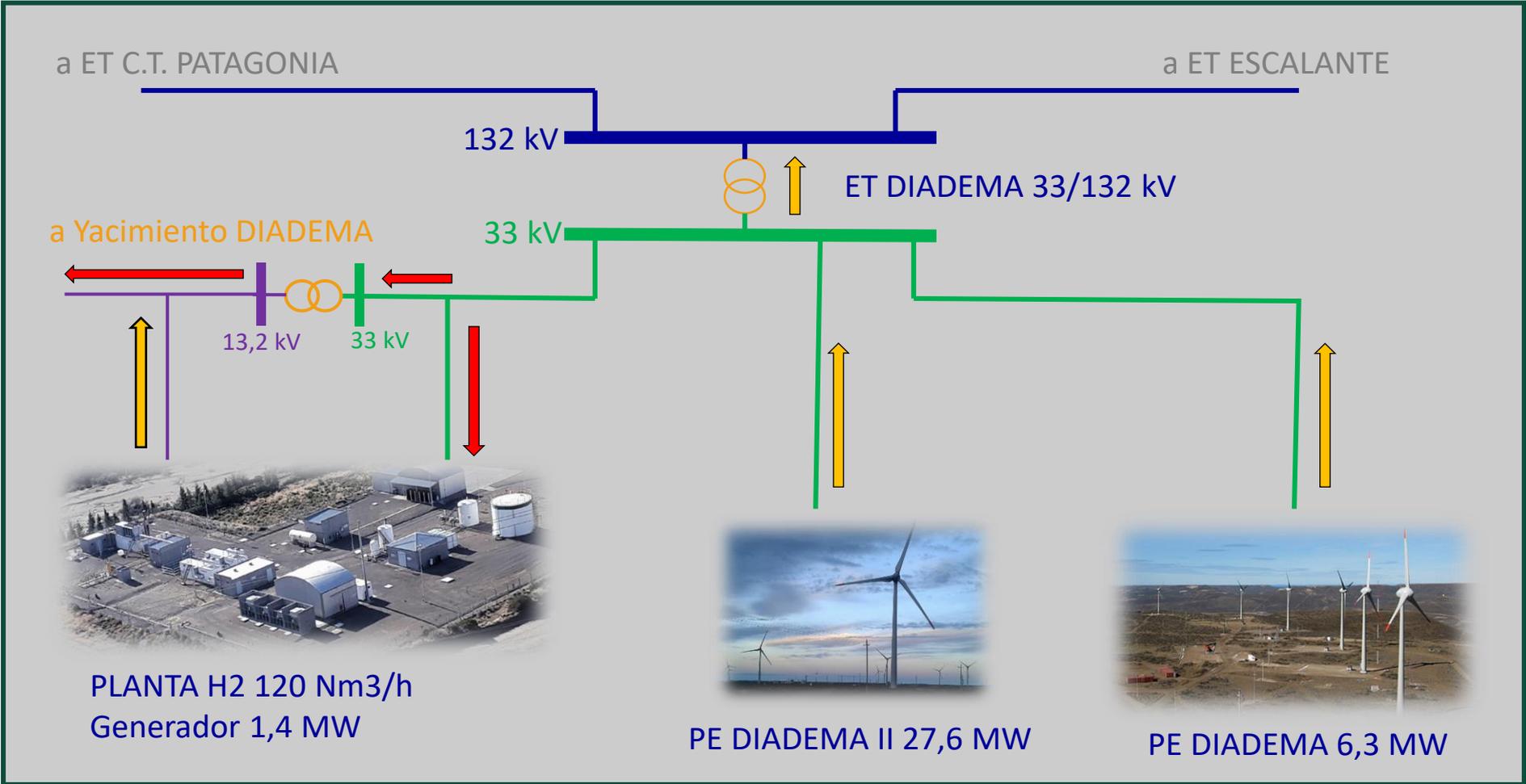
# Parque Eólico Diadema II

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 Nm<sup>3</sup>/h H<sub>2</sub>  
60 Nm<sup>3</sup>/h O<sub>2</sub>

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 % H<sub>2</sub> - Mezcla con Gas de Yacimiento
- Eficiencia Térmica Promedio: 40 %
- Importantes reducciones de CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>
- 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<sub>2</sub>: ~ 2.700.000 Nm<sup>3</sup>



Combustible para ~7 vueltas a la Tierra  
de una flota de 10 buses a H<sub>2</sub>

Comercialización de O<sub>2</sub>

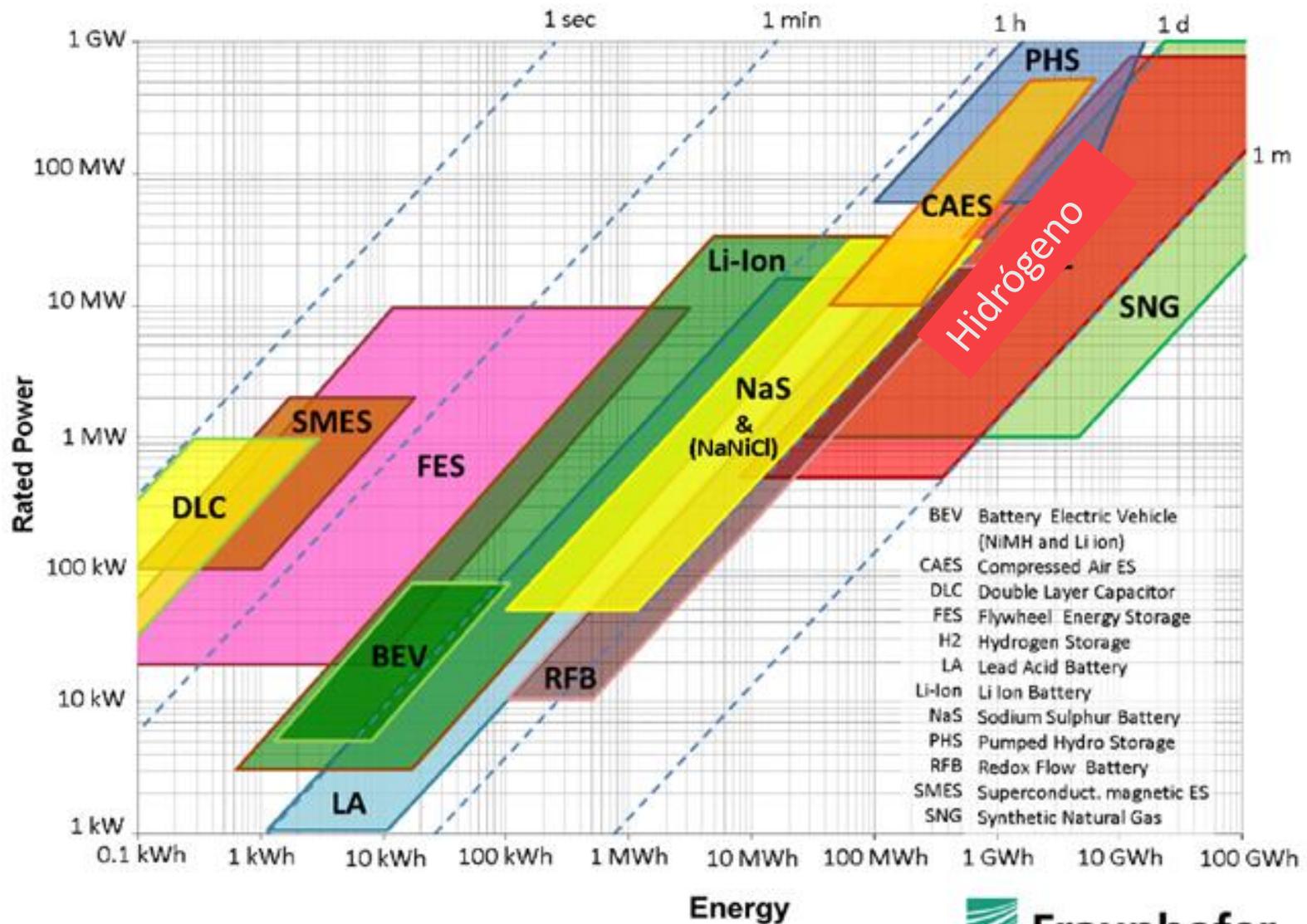


+ 1.000.000 Nm<sup>3</sup>

Generación: ~ 90.000 MWh



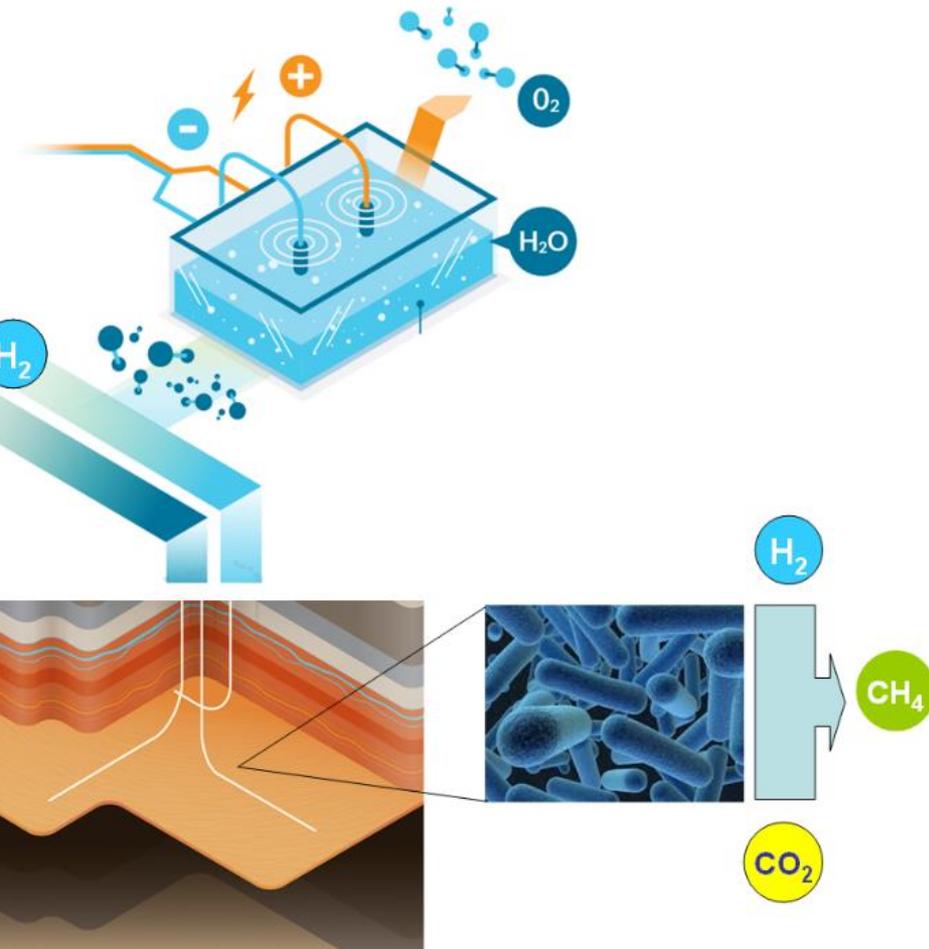
# Almacenamiento de Energía



# 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

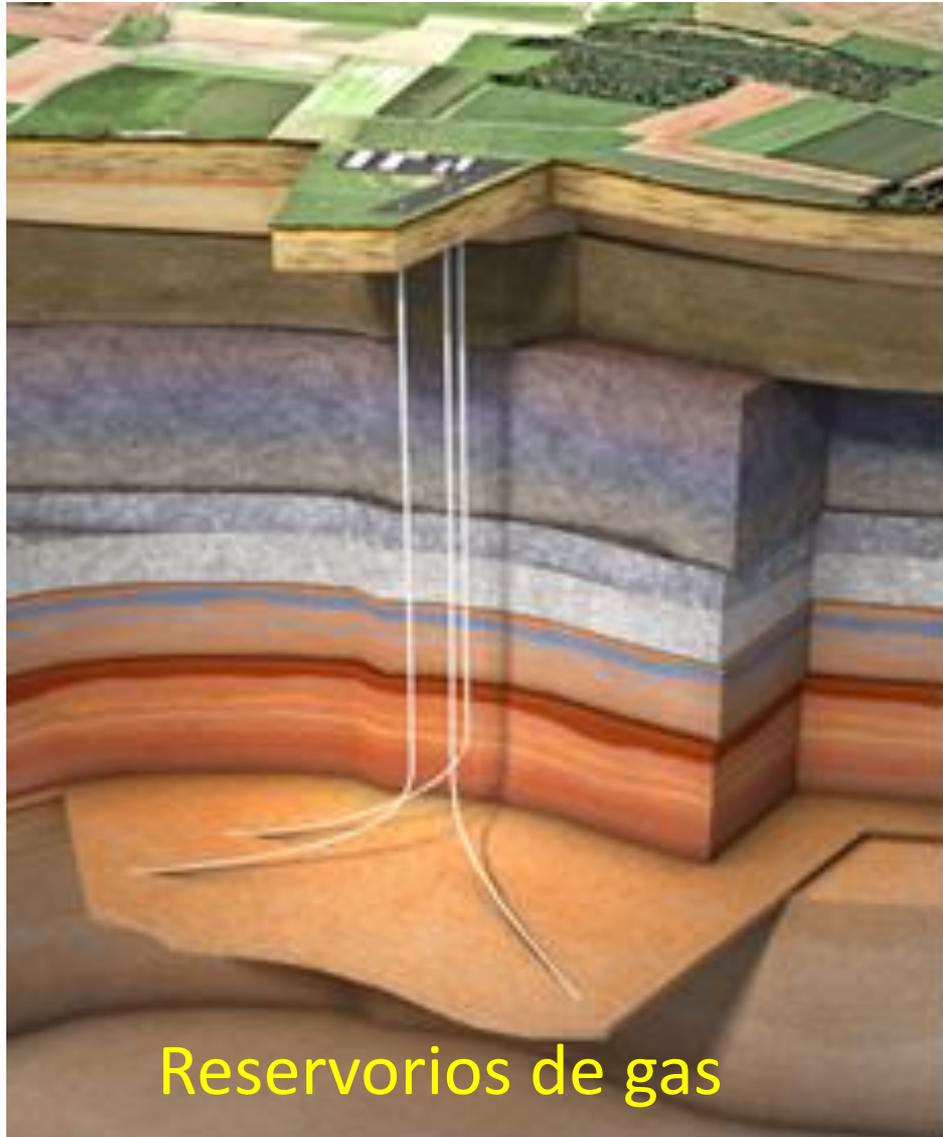
1 ¿Quiénes Somos? Nuestra visión y el contexto mundial

2 Hidrógeno - Instalaciones Hychico

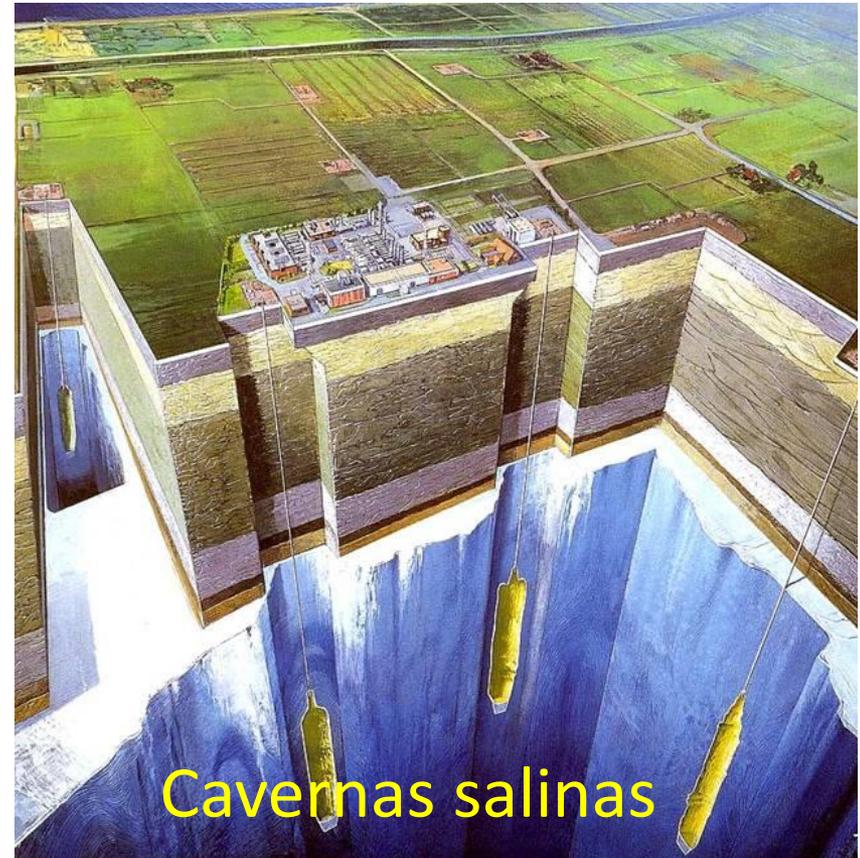
4 Almacenamiento subterráneo de Hidrógeno

3 Conclusiones

# Almacenamientos Subterráneos



Fuente: [www.hyunder.eu](http://www.hyunder.eu)



# Almacenamiento Subterráneo de H<sub>2</sub>



## 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 H<sub>2</sub>

# Almacenamiento Subterráneo de H<sub>2</sub>

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 m<sup>3</sup>*
- *Área: 16 Has*
- *Temperatura: 55 °C*

## Condiciones Originales:

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



# Aspectos Geológicos:

**Formación:** Salamanca

**Miembro:** Glauconítico

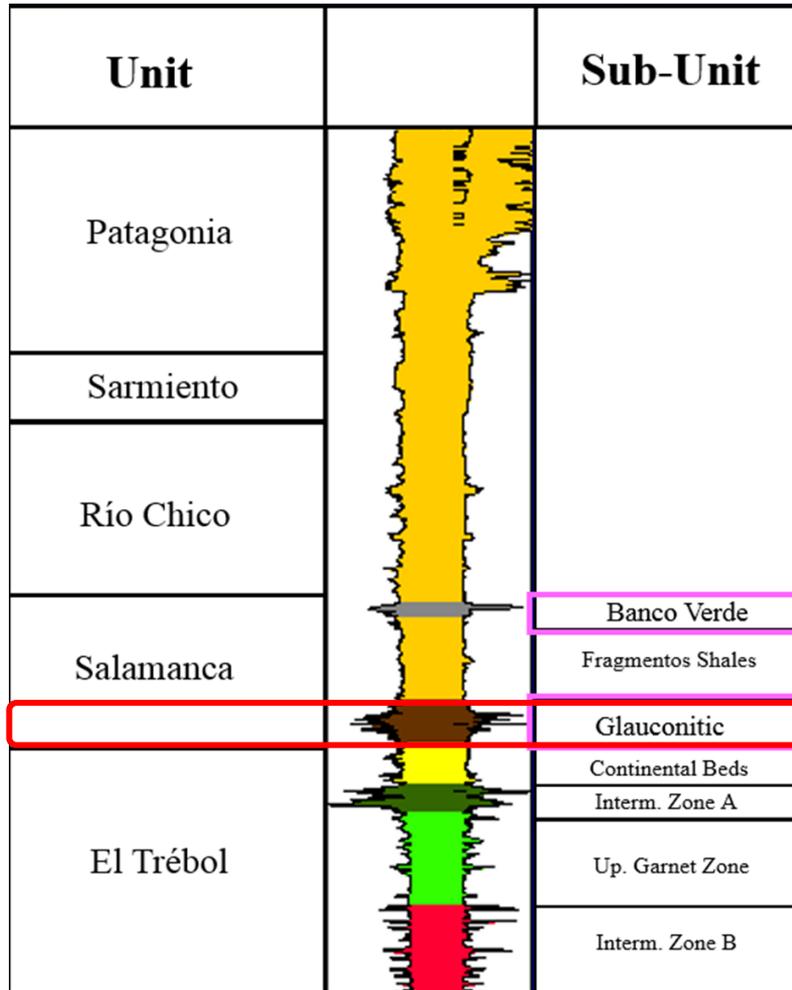
**Edad de depositación:** Época Paleoceno, periodo Terciario

**Origen y Características:**

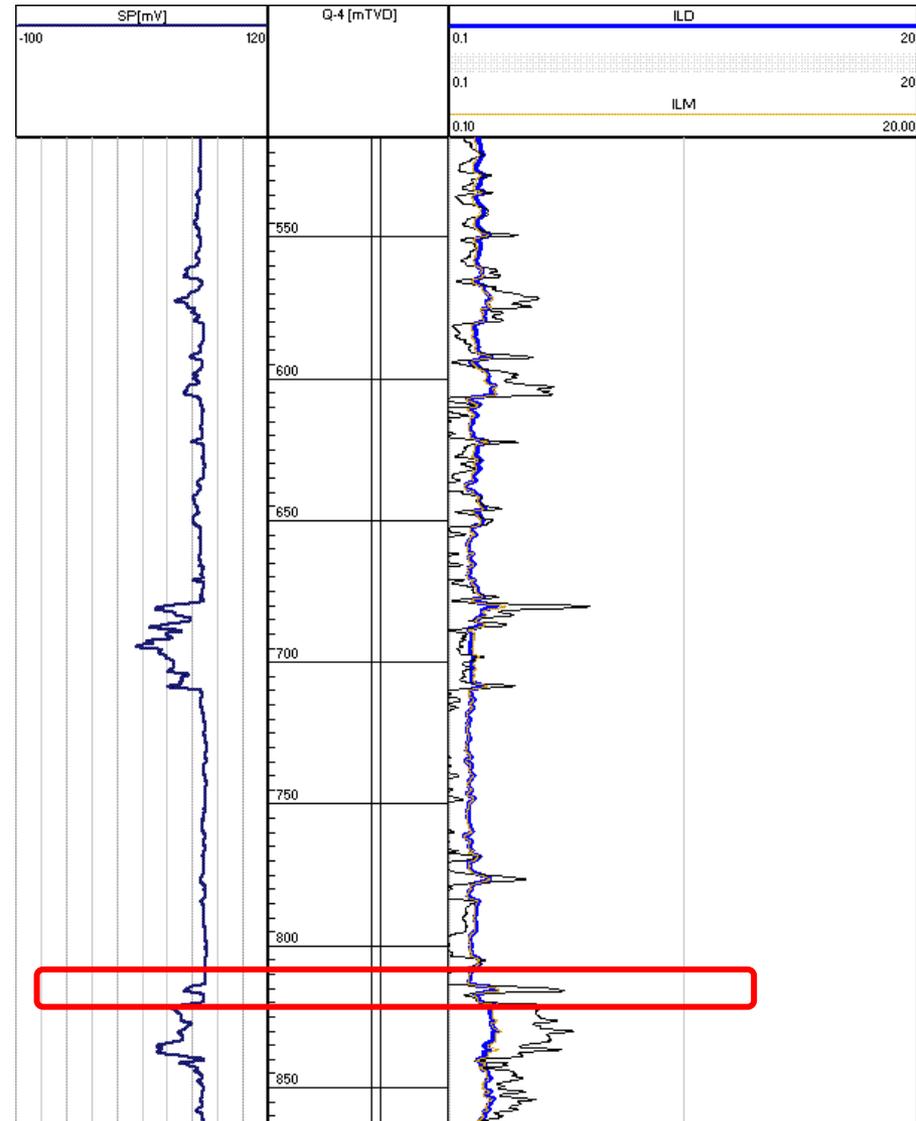
- Depósito de origen marino de amplio desarrollo y distribución areal en toda la Cuenca del Golfo San Jorge.
- Se lo considera un horizonte guía.
- Su espesor es variable dependiendo de la ubicación.
- Tipo de roca (valores promedio):

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

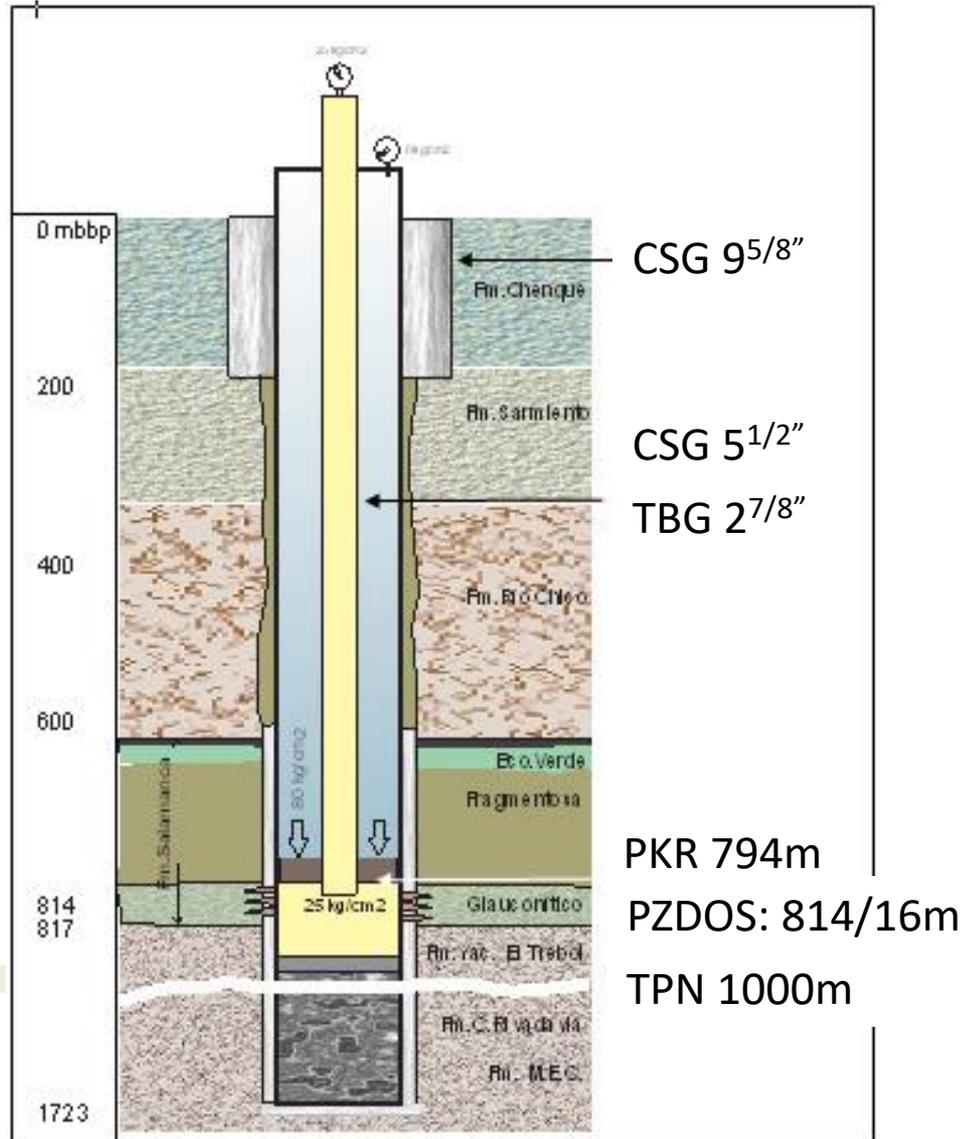
## Perfil geológico tipo:



## Perfil pozo F-160:



# Esquema del pozo:



# Almacenamiento Subterráneo de H<sub>2</sub>



## 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 H<sub>2</sub> (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 Mm<sup>3</sup>).
- Buena petrofísica de la roca (porosidad y permeabilidad.)

# Instalaciones Superficie



Planta H2

**Hidrogenoducto  
Planta H<sub>2</sub>-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<sub>2</sub> y a la presión máxima de 25 bar.**

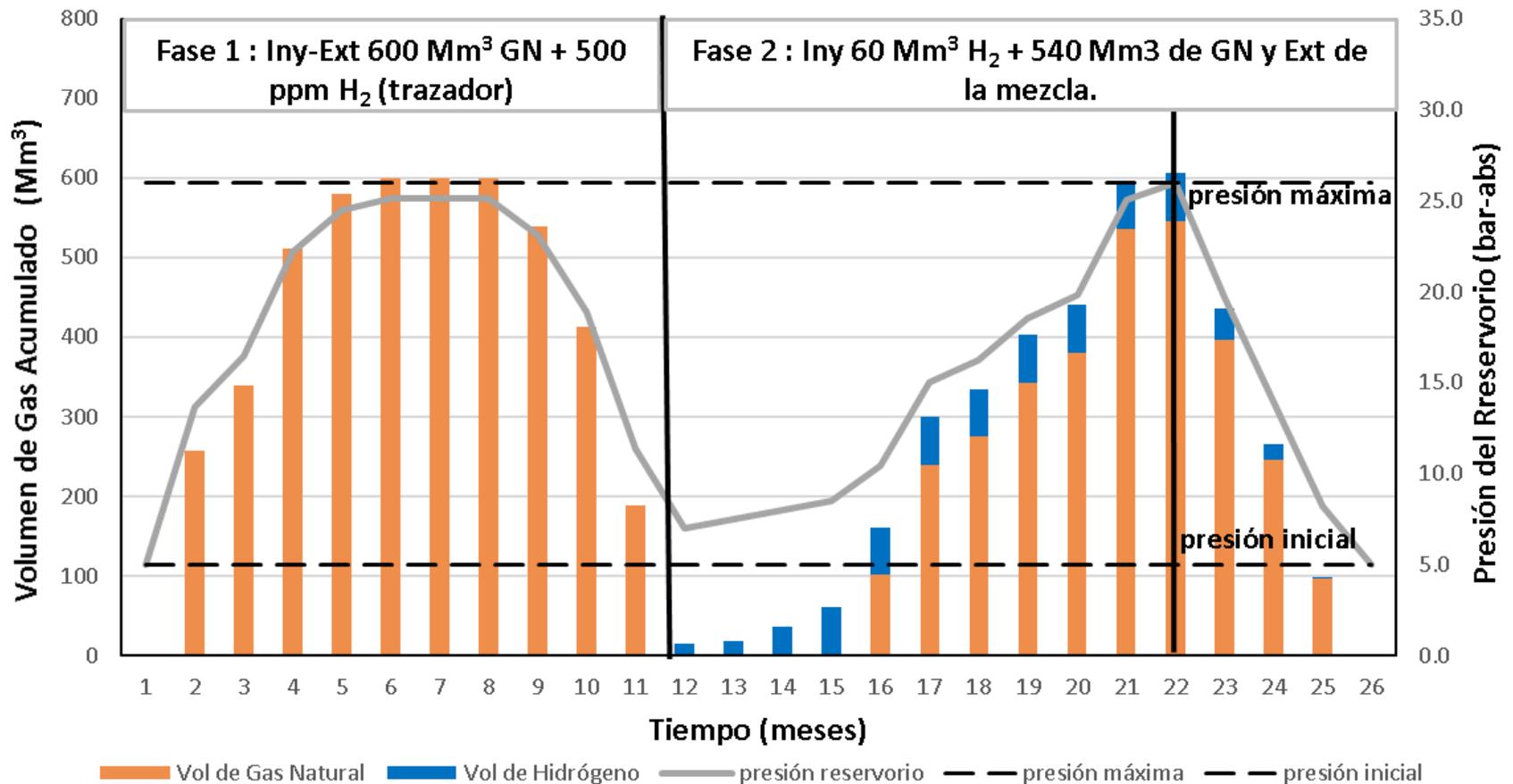
- Un ciclo de inyección-extracción de 600 Mm<sup>3</sup> de gas desde la presión inicial de 5 bar hasta la presión máxima del reservorio de 25 bares.
- Agregado de H<sub>2</sub> en batches de 500ppm como trazador, para detectar posibles fugas de acuerdo a un plan de monitoreo establecido.

## 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 Mm<sup>3</sup> de hidrógeno y 540 Mm<sup>3</sup> de gas desde la presión inicial de 5 bar hasta completar los 600 Mm<sup>3</sup> a 25 bar.
- La proporción de la mezcla 10% H<sub>2</sub>-90% gas por razones de seguridad de los materiales de las instalaciones (pozo).

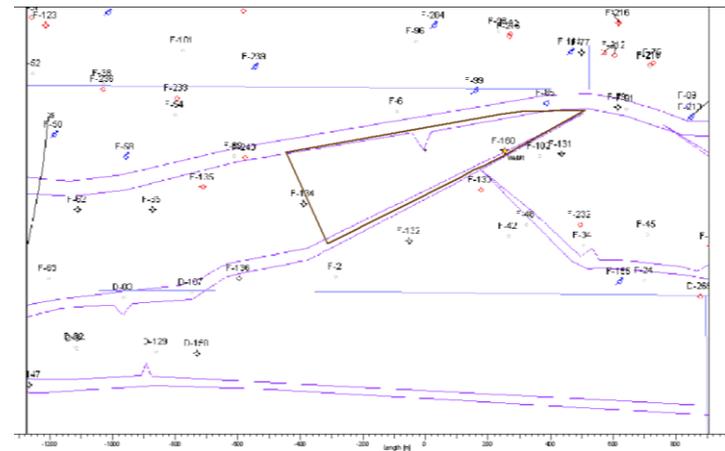
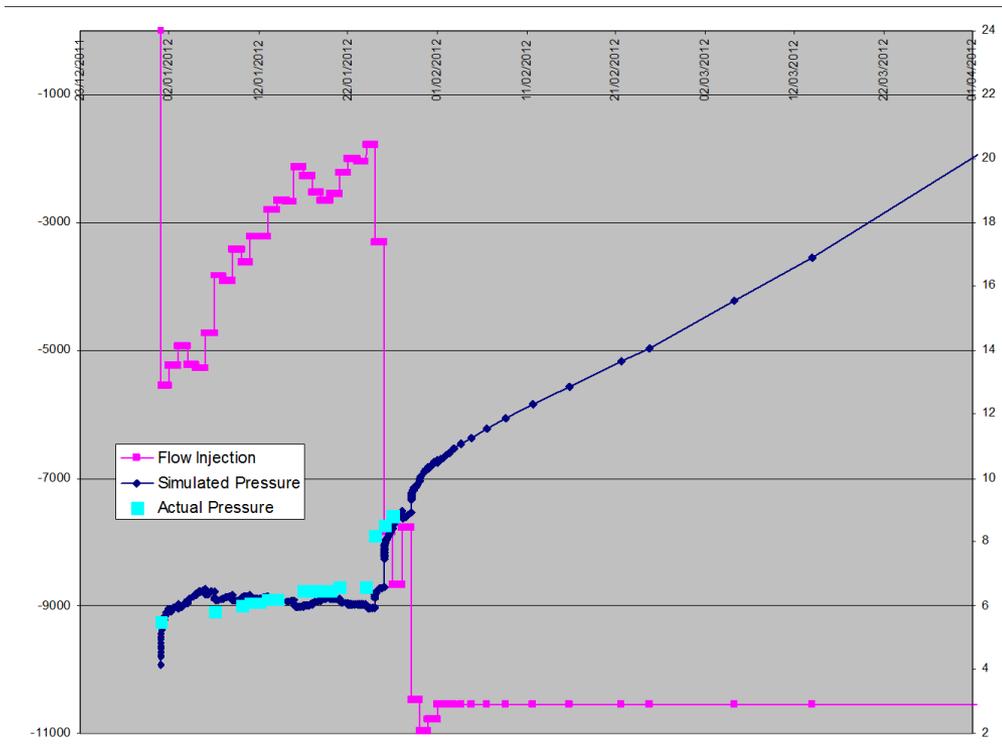
## Cronología Fases del Proyecto



# 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 H<sub>2</sub>

Detectar posibles microfugas de H<sub>2</sub> 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 H<sub>2</sub> > 4% (40,000 ppm)

# Programa de Monitoreo de H<sub>2</sub>

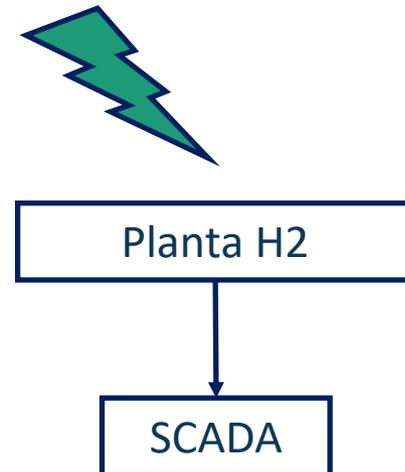
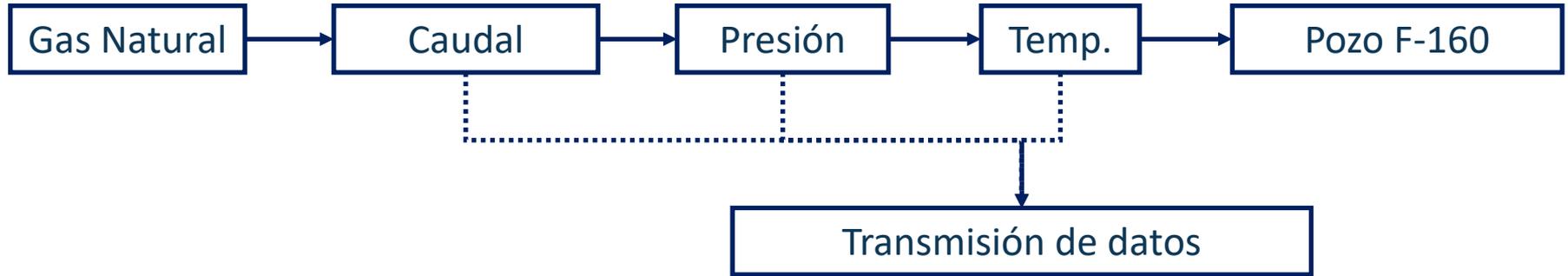


**H<sub>2</sub> Detector sensitivity: 0.5 ppm**



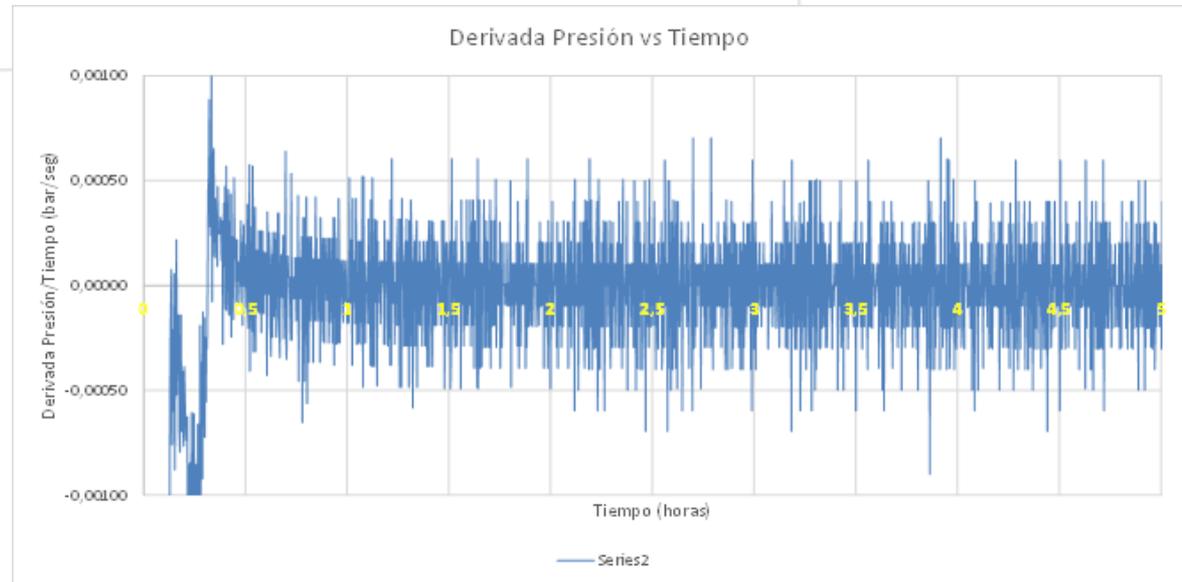
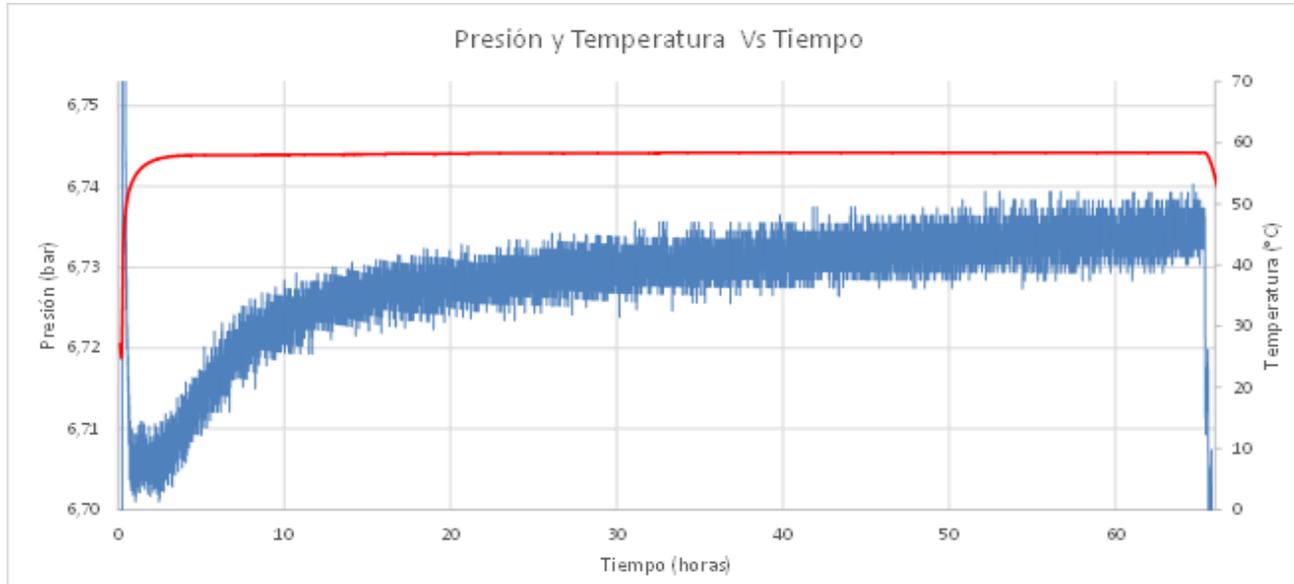
**Muestreador de H<sub>2</sub>  
(1 m depth)**

# 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.



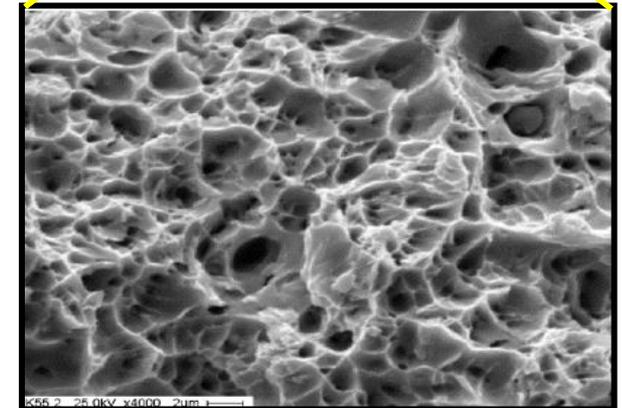
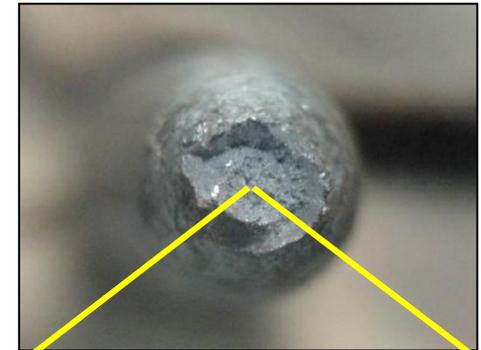
# Programa de Ensayo de Materiales

## 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 H<sub>2</sub> en reservorios depletados de gas.
- Proyecto de **metanogénesis controlada subterránea.**

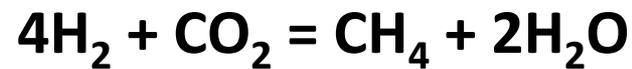
# Metano “verde”

## Concepto:

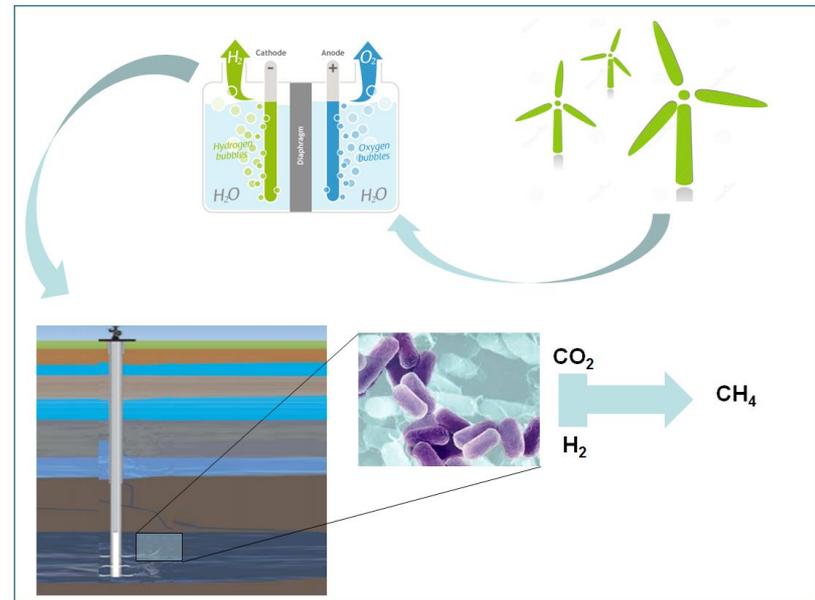
- **Porqué producir metano?**
  - El metano puede ser usado a mayor escala que el hidrógeno.
  - El manejo y almacenamiento del metano en reservorios geológicos es bien conocido y por lo tanto mas fácil que para el hidrógeno.
- **Pero...**
  - La producción del metano a partir de  $H_2$  y  $CO_2$  con la tecnología 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 transformación 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:

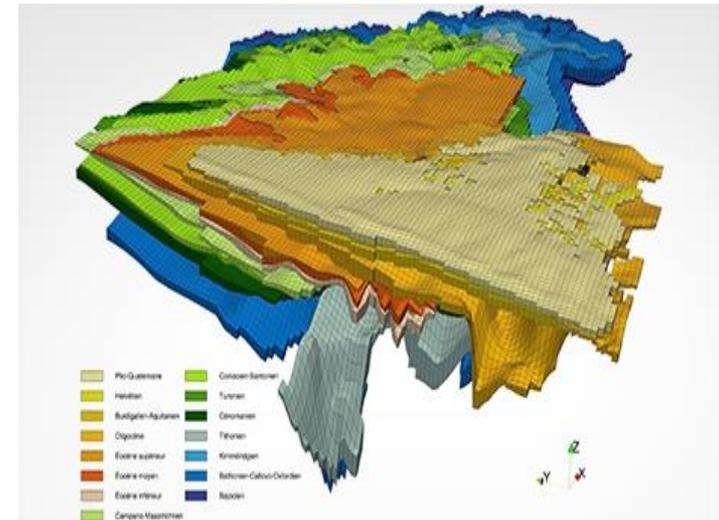


- Requiere condiciones específicas de temperatura, presión, pH, composición del agua ...etc.



# 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<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub> 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](mailto:eduardo.perez@grupocapsa.com.ar)

[rperez@grupocapsa.com.ar](mailto:rperez@grupocapsa.com.ar)