



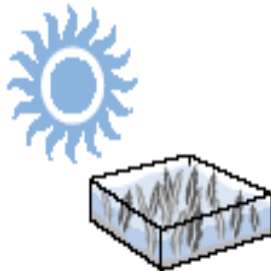
# PRODUCCIÓN Y ALMACENAJE DE HIDRÓGENO

---

ESTEFANÍA CONDE HERNÁNDEZ  
EDUARDO REYES HERNÁNDEZ

# PRODUCCIÓN

**Algae:** Methods for utilising the photo-synthesis for hydrogen production



**Gas:** Natural gas or bio-gas are hydrogen sources with steam reforming or partial oxidation



**Oil:** Hydrogen is produced with steam reforming or partial oxidation from fossil or renewable oils



**Wood:** Pyrolysis technology for hydrogen from biomass

H<sub>2</sub>



**Coal:** With gasification technology hydrogen may be produced from coal



**Power:** Water electrolysis from renewable sources



**Alcohols** like ethanol and methanol derived from gas or biomass - are rich on hydrogen and may be reformed to hydrogen

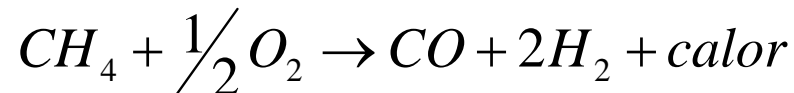
# PRODUCCIÓN A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES

---

- A partir de gas natural:
  - Reformado de vapor
    - Conversión endotérmica de metano y vapor de agua. 700-850 °C, 3-25 bares.



- Oxidación parcial de gas natural
  - Producción de H<sub>2</sub> por combustión parcial de CH<sub>4</sub> con O<sub>2</sub>.



# PRODUCCIÓN A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES

---

- Reformado autotérmico
  - Combinación de anteriores.
  - 950-1100 °C
  - Presiones superiores a 100 bares
- A Partir de carbón
  - Por varios procesos de gasificación
  - Conversión favorecida a altas temperaturas



# PRODUCCIÓN A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES

---

- Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>
  - CO<sub>2</sub>: principal producto de combustión
  - Descarbonización
  - Hay 3 procesos:
    - Post-combustión
    - Pre-combustión
    - Combustión Oxifuel

# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

---

## ○ Electrólisis del agua

- El agua se separa en  $H_2$  y  $O_2$  por aplicación de energía



- La energía total aumenta lentamente con la temperatura
- La energía eléctrica disminuye con T.
- Electrólisis a altas temperaturas: Si hay un exceso de calor en otro proceso

# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

---

- Electrólisis alcalina
  - Disolución alcalina de KOH como electrolito
  - Aplicaciones estáticas
  - Opera a 25 bares

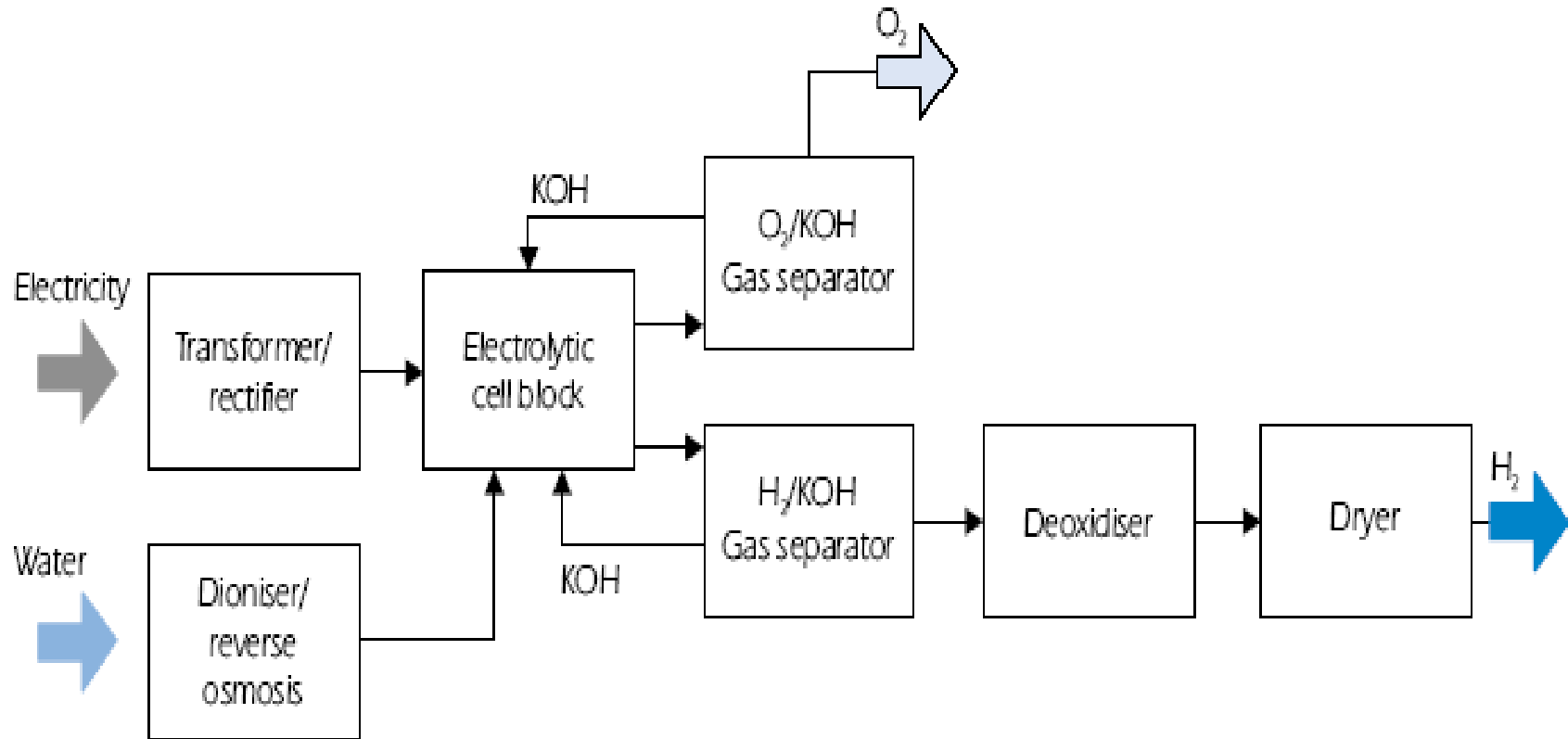
**Electrolyte:**  $4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{OH}^-$

**Cathode:**  $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$

**Anode:**  $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$

**Sum:**  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2$

# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA



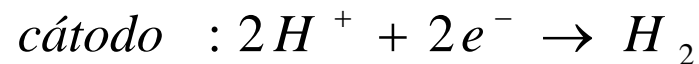
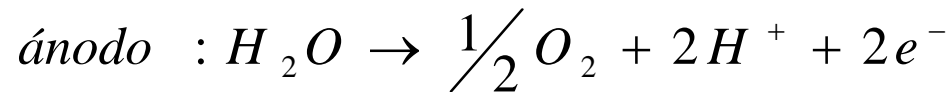


# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

---

- Electrolisis por membrana de electrolito polimérico (PEM)

- Aplicaciones estáticas y móviles



- Ventajas:

- Mayor seguridad
- Más compacto
- Operar a presiones mayores

- Inconveniente

- Limitado tiempo de vida de las membranas

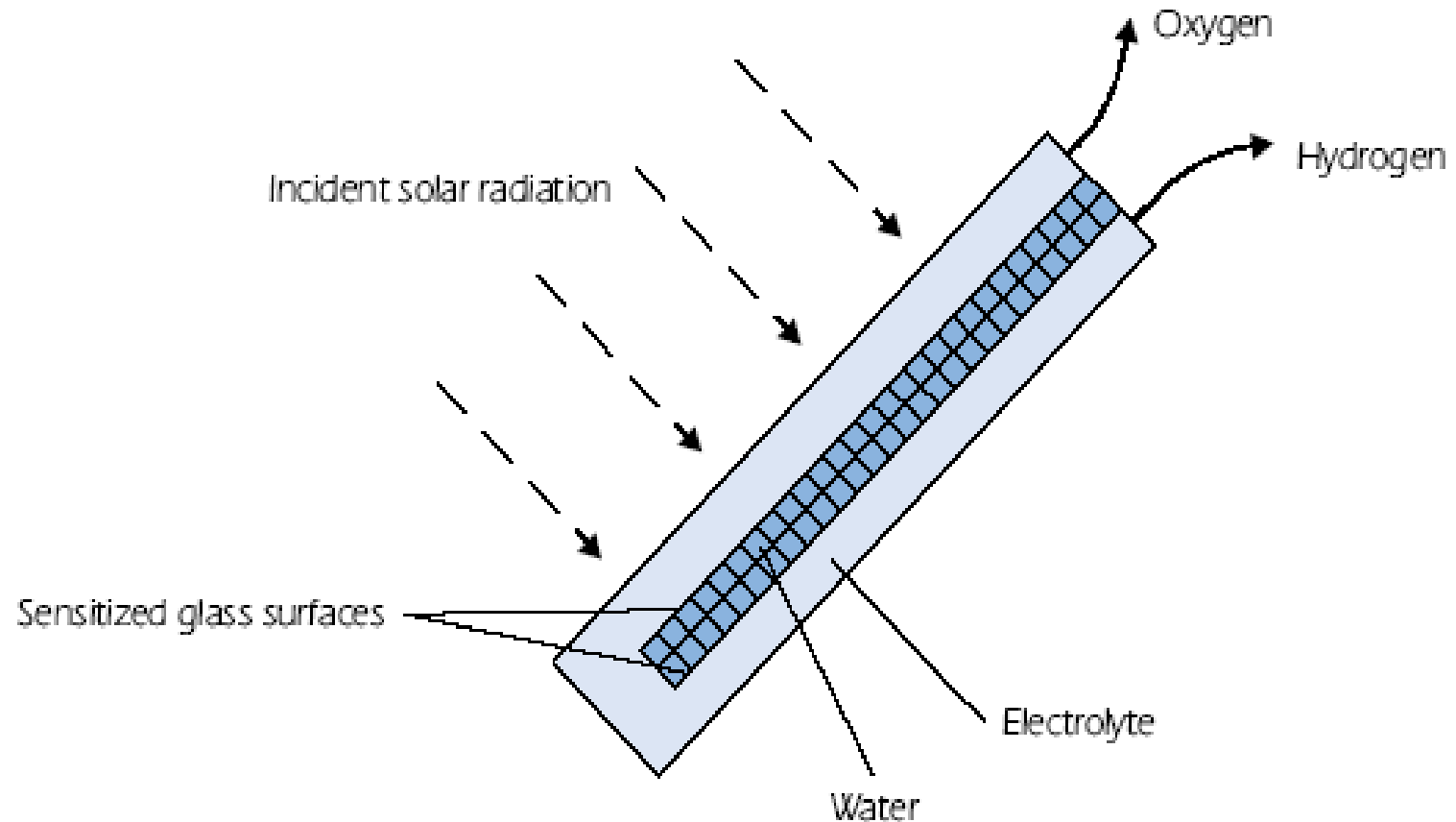
# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

---

- Electrolisis a altas temperaturas
  - Tecnología de células de combustible a altas temperaturas
  - Mayor eficiencia que electrolizadores ordinarios
  - Reacciones de electrodo son más reversibles
- Fotelectrolisis
  - Sistema fotovoltaico unido a electrolizadores
  - Mayor flexibilidad
  - Energía desde células fotovoltaicas
  - Hidrógeno desde electrolizador

# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

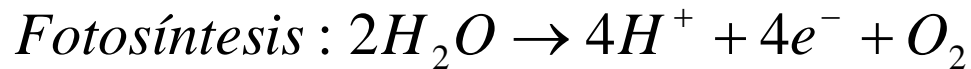
---



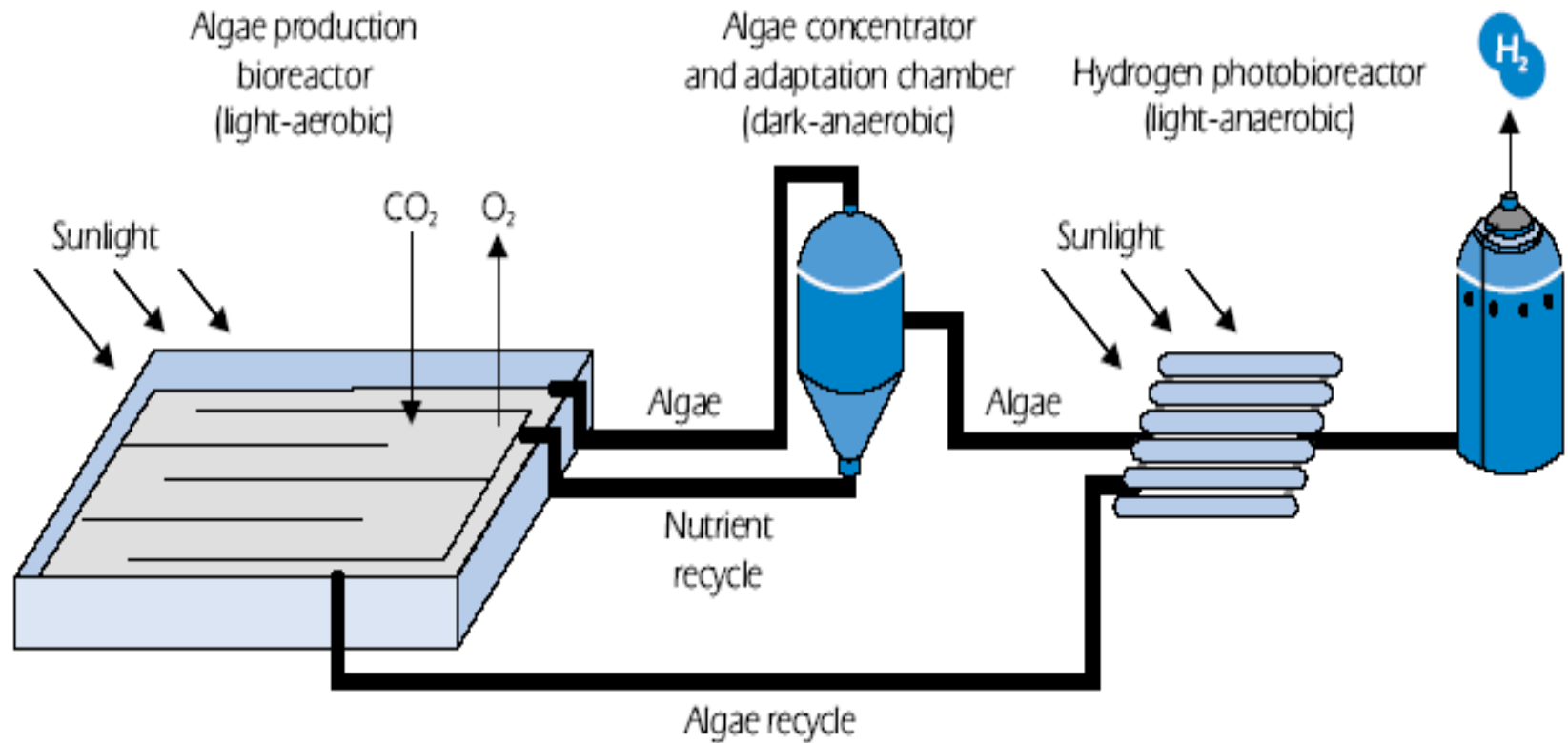
# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

---

- Producción fotobiológica
  - Fotosíntesis
  - Producción catalizada de  $H_2$  por hidrogenasas



# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA



# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

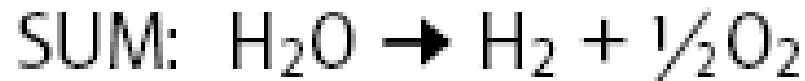
---

- Descomposición a alta temperatura
  - se produce a unos 3000°C
  - un 10% del agua se descompone y el 90% se recicla
    - Ciclos termoquímicos
    - Sistemas híbridos que unen la descomposición térmica y electrolítica
    - Descomposición catalítica directa con separación a través de membrana de cerámica

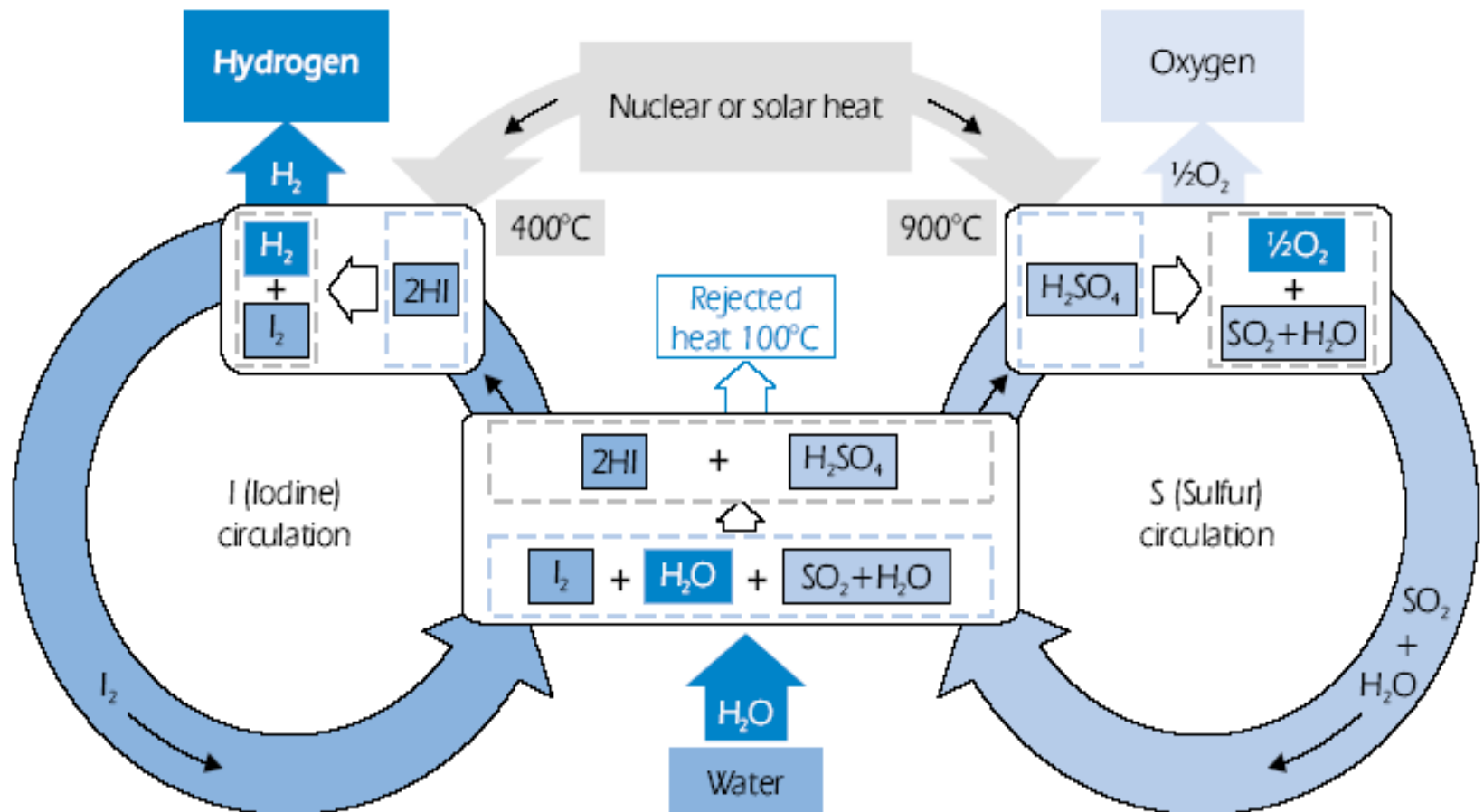
# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA

---

- Ruptura termoquímica del agua
  - Conversión de agua en H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>
  - Reacciones químicas controladas
  - Bajo coste y alto rendimiento



# PRODUCCIÓN A PARTIR DE LA RUPTURA DE AGUA



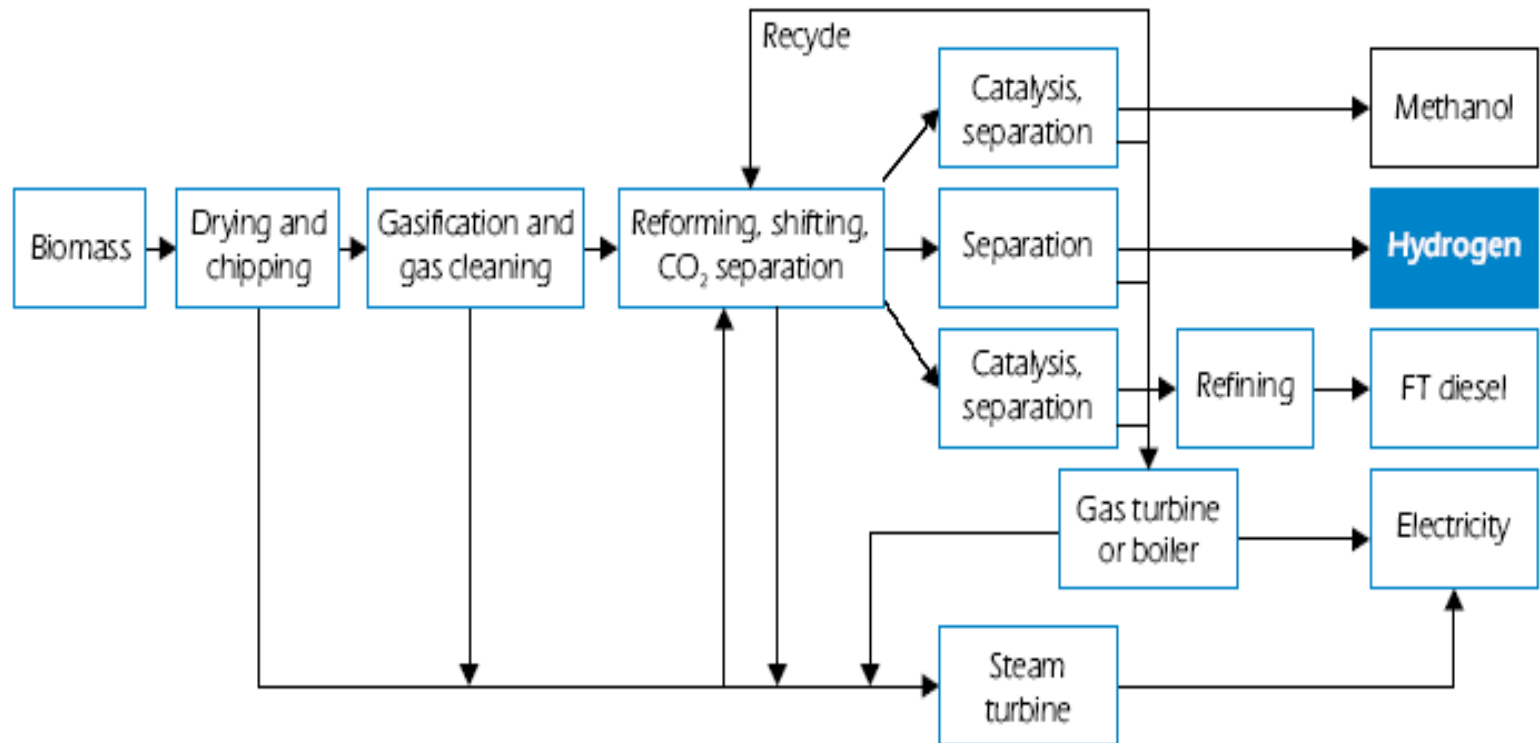


# PRODUCCIÓN A PARTIR DE BIOMASA

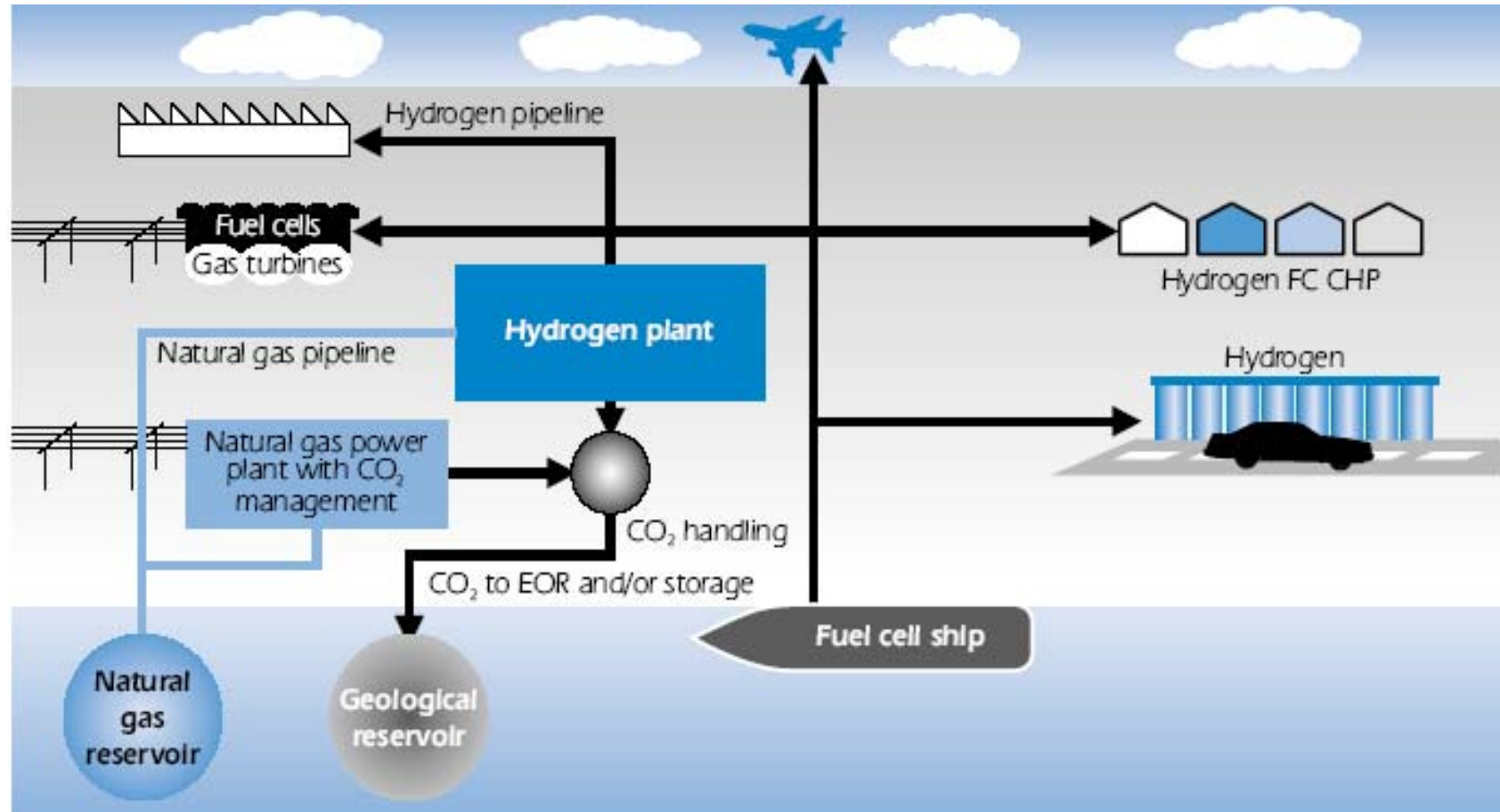
---

- Hidrógeno se produce de manera similar que a partir de carbón.
- No existen plantas comerciales
- Se produce  $H_2$  y biocombustibles
- Gasificación y la pirólisis: medio tecnológico más prometedor
- Reservas de biomasa:
  - Productos no refinados
  - Calidad inconsistente
  - Pobre control de calidad

# PRODUCCIÓN A PARTIR DE BIOMASA



# PRODUCCIÓN CENTRALIZADA DE HIDRÓGENO



# PRODUCCIÓN DISTRIBUIDA DE HIDRÓGENO

---

- Beneficio:
  - Se reduce necesidad de transportar H<sub>2</sub> combustible
  - No es necesario construcción de nuevas infraestructuras
- Coste de producción mayor para pequeña capacidad
- Eficacia menor que para las plantas centralizadas
- Desventaja: Espacio requerido por la producción del hidrógeno

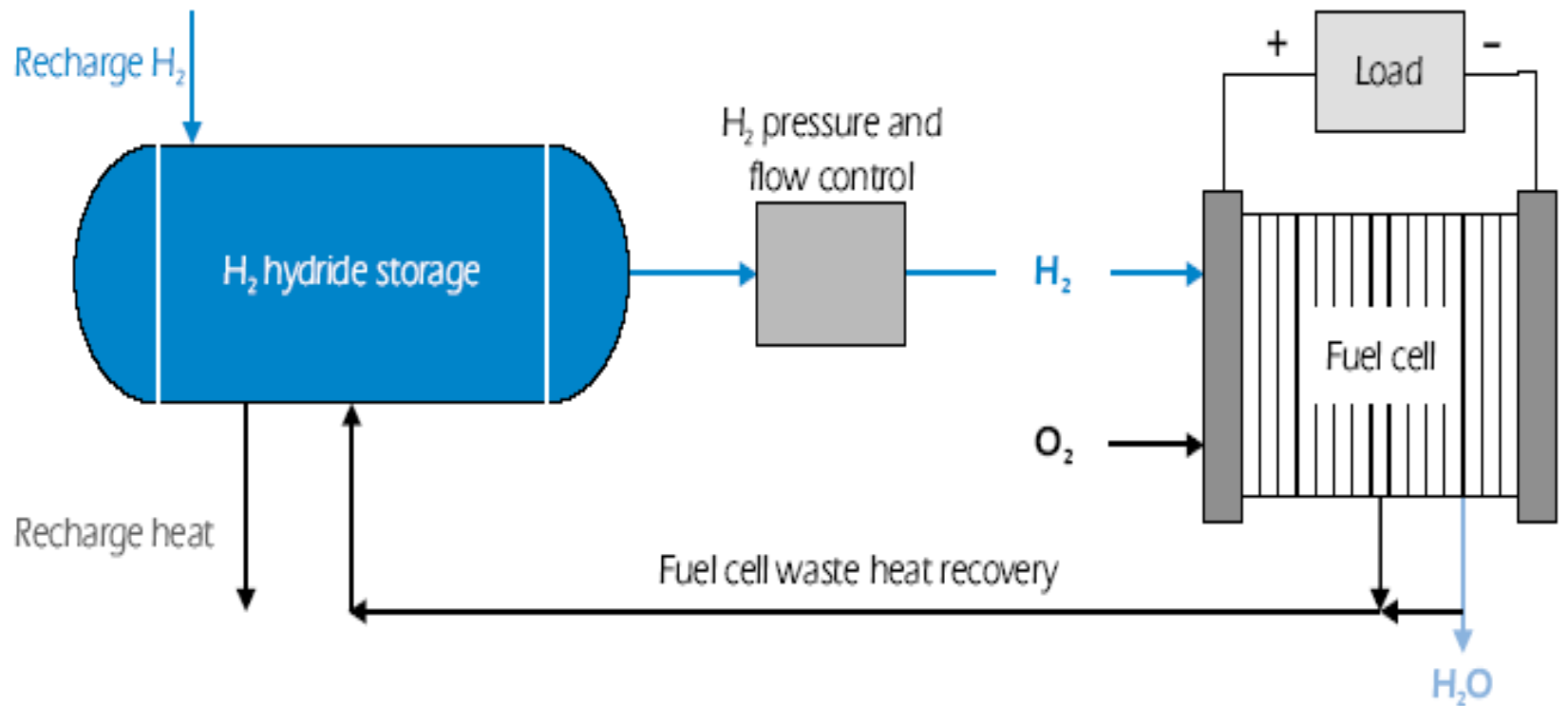
# ALMACENAMIENTO

---

- o Tres formas principales de almacenar H<sub>2</sub>
  - Gas
  - Líquido
  - Sólido

Technology	Volume [litres]	Weight [kg]	Density [Wt. % H <sub>2</sub> ]
35 MPa (350 bar) compressed H <sub>2</sub>	145	45	6.7
70 MPa (700 bar) compressed H <sub>2</sub>	100	50	6.0
Cryogenic liquid H <sub>2</sub>	90	40	7.5
Low-temperature metal hydride	55	215	1.4

# ALMACENAMIENTO

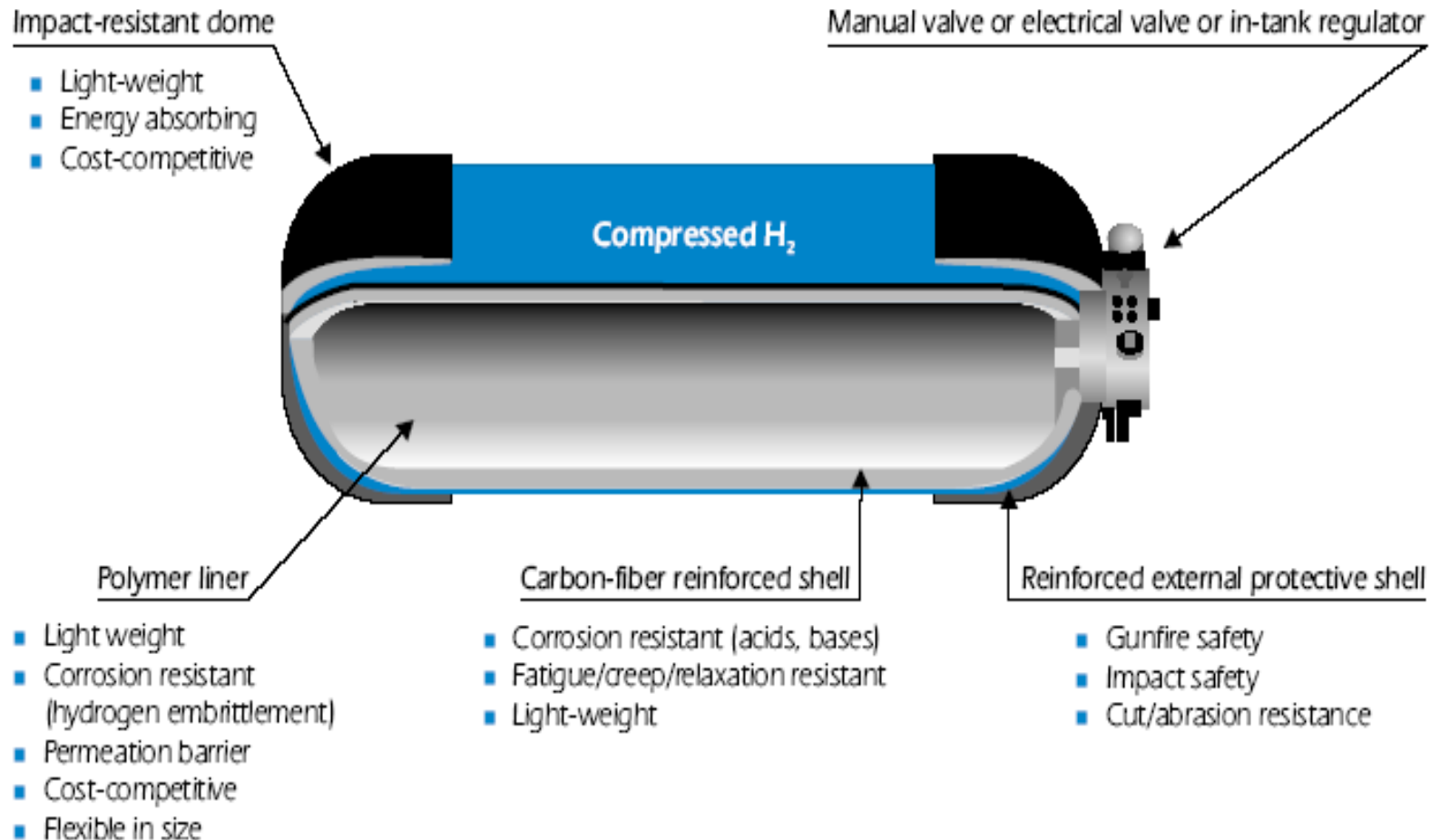


# HIDRÓGENO GASEOSO

---

- Tanque compuesto
  - Ventajas
    - Bajo peso
    - Comercialmente disponible, diseñado y probado
    - Soportan altas presiones
    - No requiere de intercambiadores de calor internos
  - Desventajas
    - Gran volumen
    - Alto coste y energía
    - Cuestiones de seguridad

# HIDRÓGENO GASEOSO





# HIDRÓGENO GASEOSO

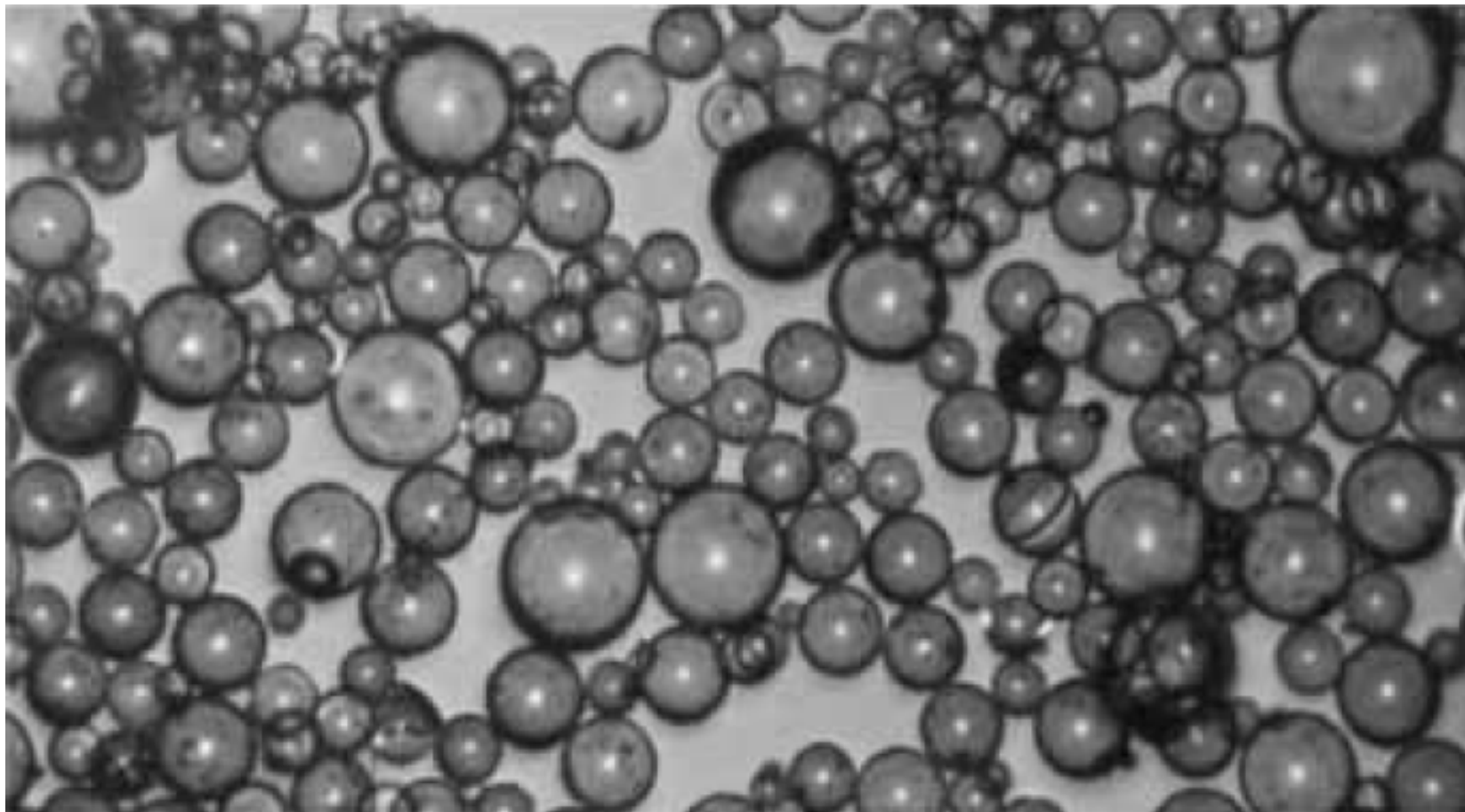
---

## ○ Microesferas de cristal

- Se llenan las esferas de H<sub>2</sub> a alta presión y temperatura
- Se enfrían a temperatura ambiente
- Se transfieren al tanque de baja presión
- Se calientan a 300 °C

# HIDRÓGENO GASEOSO

---



# HIDRÓGENO LÍQUIDO

---

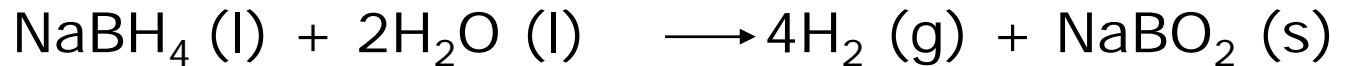
- Hidrógeno líquido criogénico (LH<sub>2</sub>)
  - temperaturas criogénicas (-253 °C)
  - mayor densidad energética
  - principal ventaja: conseguir una alta densidad de almacenamiento a presiones relativamente bajas
  - Aplicaciones: combustible en vehículos, combustible de aviones.

# HIDRÓGENO LÍQUIDO

---

## ○ Soluciones de NaBH<sub>4</sub>

- reacción catalítica de hidrólisis

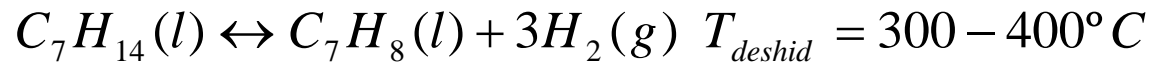


- principal ventaja: permite controlar la generación de H<sub>2</sub>.
- Desventaja: se produce NaBO<sub>2</sub> que se debe regenerar a NaBH<sub>4</sub>.

# HIDRÓGENO LÍQUIDO

---

- Líquidos Orgánicos recargables



- Se lleva a cabo en tres pasos:
  - Deshidrogenación
  - Recirculación
  - Rehidrogenación

# HIDRÓGENO SÓLIDO

---

- Forma segura y eficiente de almacenar energía
- Cuatro grupos :
  - carbón y otros materiales de gran área superficial
  - hidruros químicamente reactivos con agua
  - hidruros termoquímicos
  - hidruros recargables

# HIDRÓGENO SÓLIDO

---

## ○ Carbón

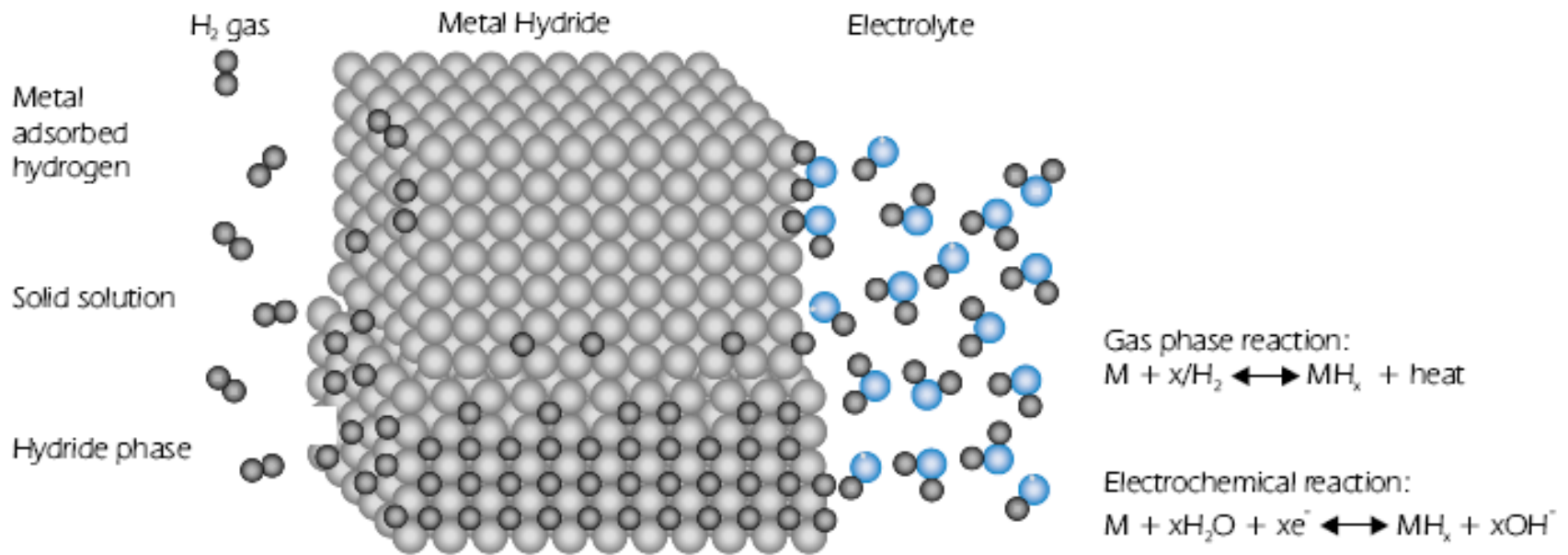
- adsorción de hidrógeno puro molecular ha sido demostrada, pero sólo es posible a temperaturas criogénicas
- se necesitan carbones de gran área superficial

Otros materiales:

- Zeolitas
- MOFs

# HIDRÓGENO SÓLIDO

## ○ Hidruros recargables



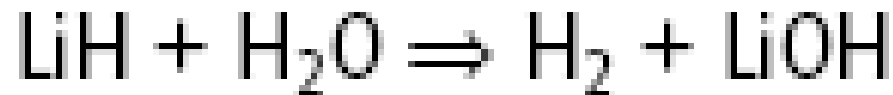
Source: Schlapbach, Nature, 2001 [1].



# HIDRÓGENO SÓLIDO

---

- HIDRUROS QUÍMICOS (REACTIVOS CON H<sub>2</sub>O)
  - generar hidrógeno mediante reacciones de hidrólisis



# HIDRÓGENO SÓLIDO

---

- HIDRUIROS QUÍMICOS (TÉRMICOS)
  - $\text{NH}_4\text{BH}_4$  puede ser descompuesto térmicamente en 4 pasos con obtención de  $\text{H}_2$



# COMPARACIÓN

---

- Ventajas del hidrógeno en estado sólido:
  - Menor volumen
  - Menor presión
  - Mayor pureza de H<sub>2</sub>

*Conclusión: se deben desarrollar los sistemas de almacenaje para que la relación coste-eficiencia sea mejor*