

# CELIDAS DE COMBUSTIBLE

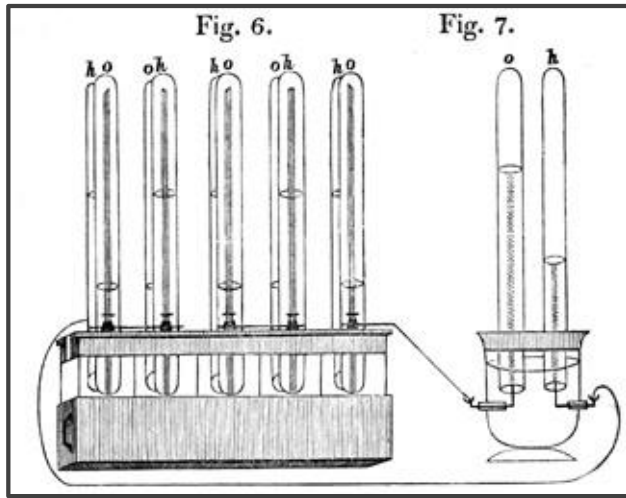
ENERGÍA, PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

Melanie Colet Lagrille, Ph.D.  
Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología  
Universidad de Chile

[mcolet@ing.uchile.cl](mailto:mcolet@ing.uchile.cl)

# Introducción.

Sir William Grove (1839)  
Francis Thomas Bacon (1932)



Fuente: W. Grove, *On the Gas Voltaic Battery* in *Philosophical Magazine and Journal of Science*, pp. 272 (1843).

NASA – Misión Gemini (1962-1965)  
General Electric Fuel Cells



© General Electric

Actualidad...



Fuente: <http://www.fuelcellenergy.com/>

# ¿Qué es una Celda de Combustible?

Conversión directa de energía química de un combustible (por ej. H<sub>2</sub> o CH<sub>4</sub>) a energía eléctrica.

alta eficiencia de conversión

bajos niveles de emisiones (CO<sub>2</sub>)

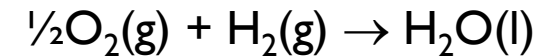
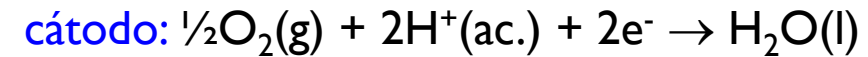
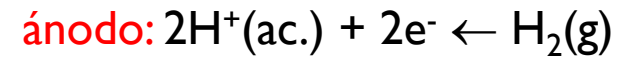
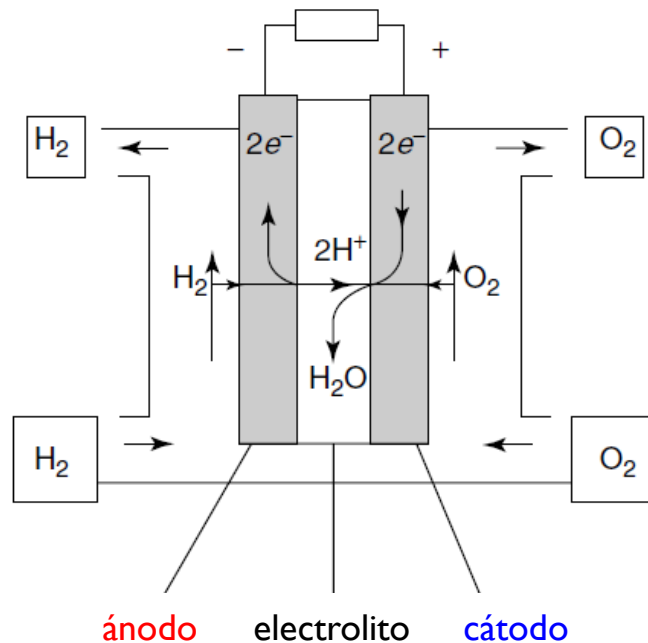
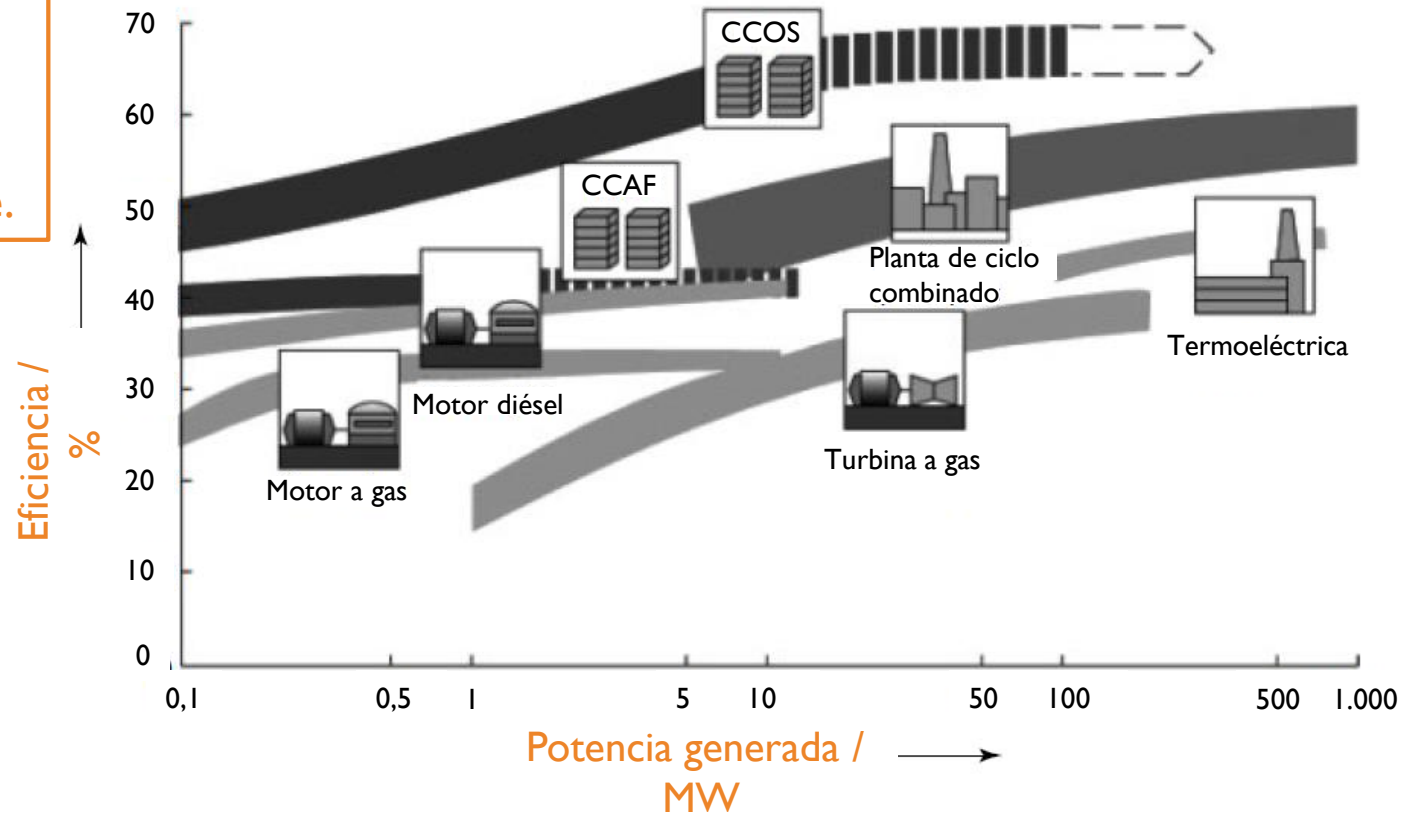


Figura 1. Esquema de una celda de combustible.

Combustible y oxidante alimentados continuamente / Componentes de la celda son estables en el tiempo.

# Eficiencia de Conversión en Celdas de Combustible.

- eficiencia depende de:
- termodinámica.
  - cinética.
  - uso del combustible.



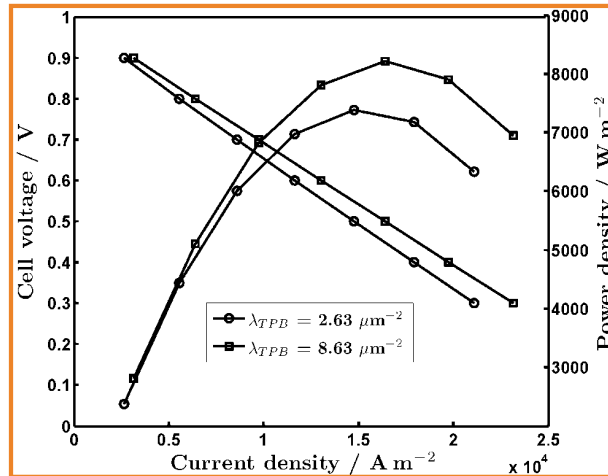
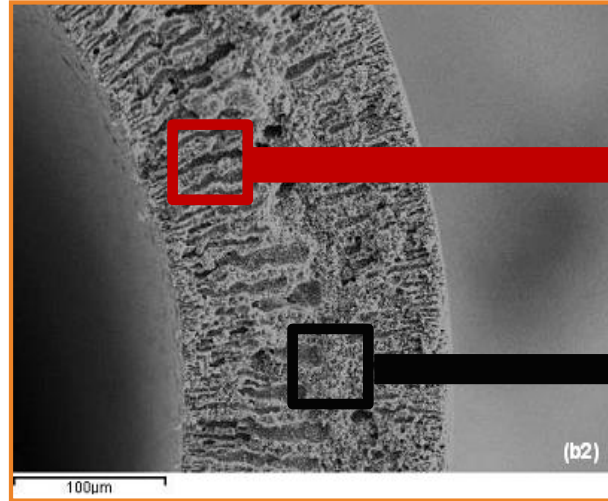
**Figura 2.** Eficiencia de conversión de energía química a energía eléctrica como función del tamaño de la planta.

Fuente: Cappadonia, M. et al., *Principles, Functions and Classification of Fuel Cells* in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, pp.43 (2000).

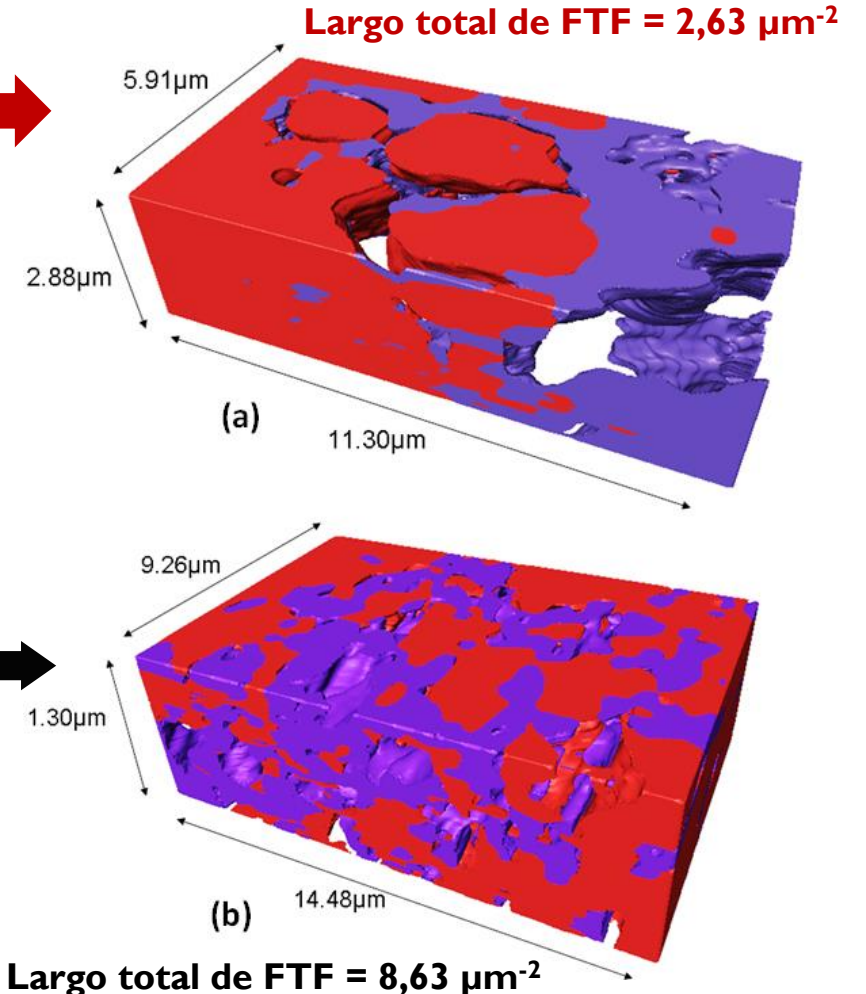
# Aspectos Técnicos de Celdas de Combustible.

## Electrodos.

- Estabilidad química (reducción / oxidación).
- Actividad catalítica (oxidación / reducción).
- Conductividad eléctrica (e iónica).
- Estructura porosa (permeabilidad a los gases y frontera de triple fase, FTF)



Fuente: U. Doraswami et al., Solid State Ionics 192(1) 494-500 (2009).



# Aspectos Técnicos de Celdas de Combustible.

## Electrolito.

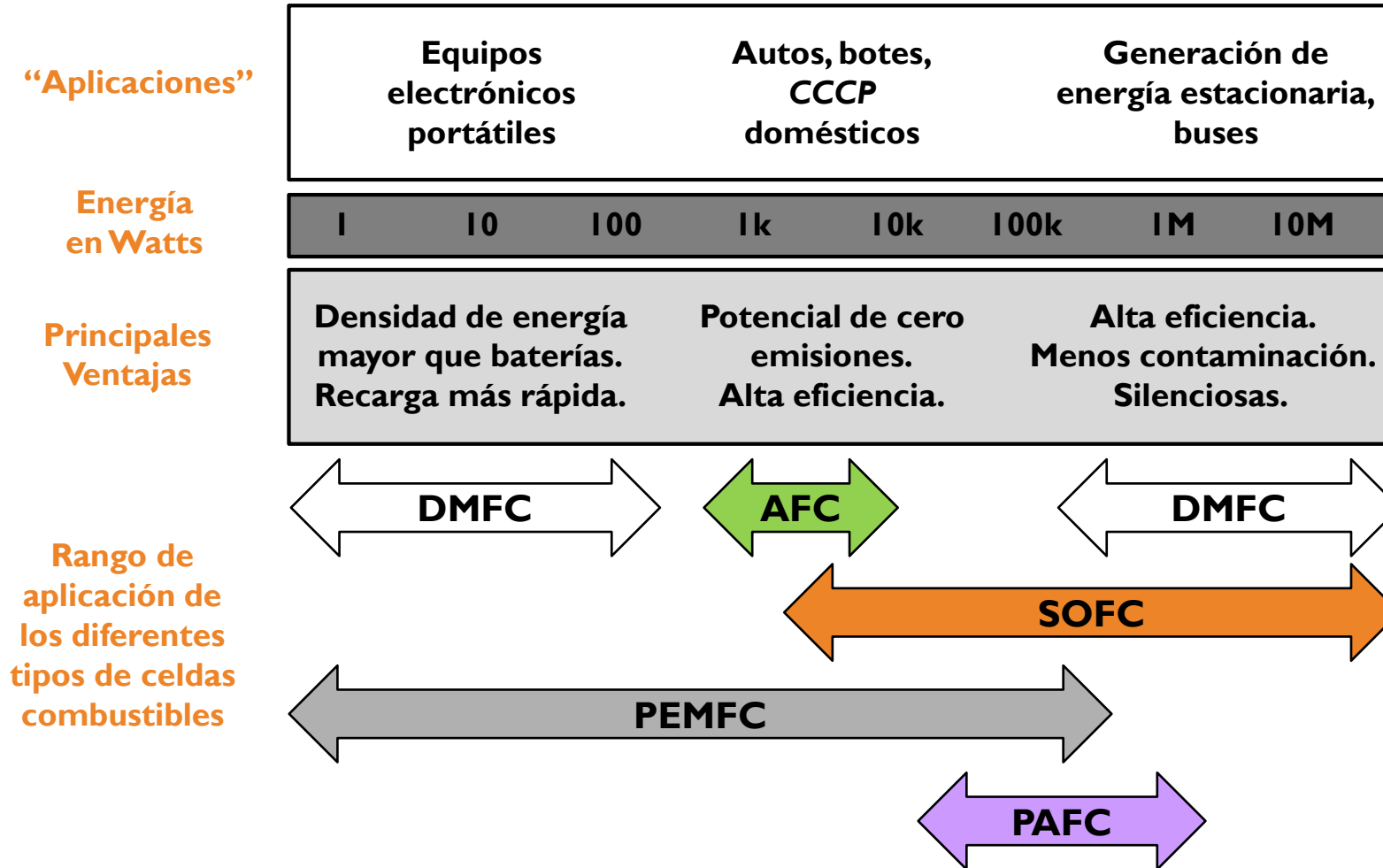
- Alta conductividad iónica a la temperatura de operación (idealmente resistencia óhmica  $< 0,15 \Omega \text{ cm}^{-2}$ ).
- Conductividad eléctrica nula (o despreciable).
- Impermeable a los gases y estable en ambiente reductor y oxidante (entre 0 y 1,2 V).

**Tabla I.** Diferentes tipos de celdas de combustible.

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo 1, Segunda Edición, Wiley (2003).

Tipo de celda de combustible	Ion transportado a través de electrolito	Temperatura de operación
Alcalina	$\text{OH}^-$	50 – 200 °C
Membrana de intercambio protónico	$\text{H}^+$	30 – 100 °C
Metanol directo	$\text{H}^+$	20 – 90 °C
Ácido fosfórico	$\text{H}^+$	~ 220 °C
Carbonato fundido	$\text{CO}_3^{2-}$	~ 650 °C
Óxido sólido	$\text{O}^{2-}$	500 – 1.000 °C

# “Aplicaciones” de Celdas de Combustible.



**Figura 3.** Resumen de las aplicaciones y principales ventajas de los diferentes tipos de celdas de combustible y sus diferentes aplicaciones.

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo 1, Segunda Edición, Wiley (2003).

# “Aplicaciones” de Celdas de Combustible.

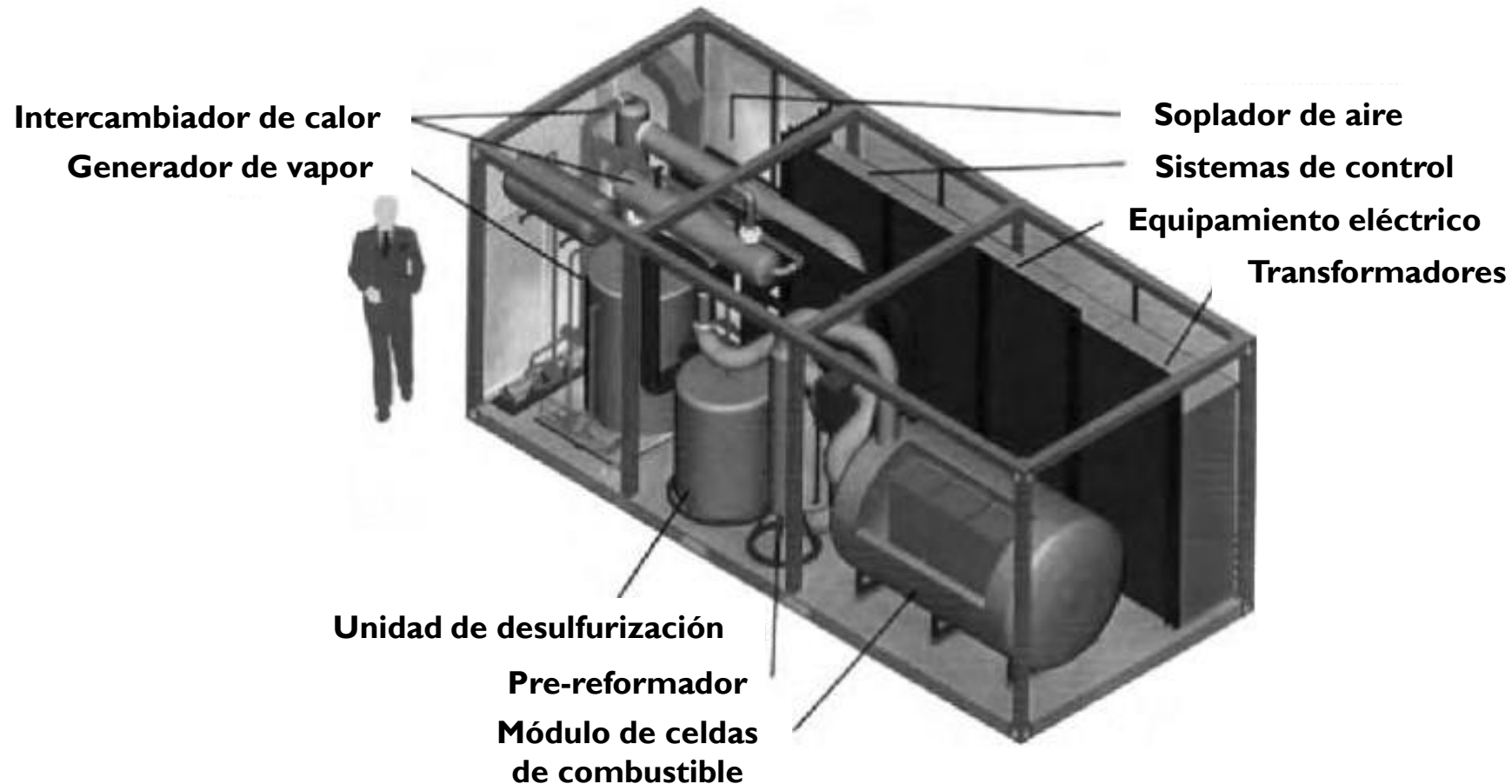


**Figura 4.** Celda de combustible de ácido fosfórico. Genera 200 kW de electricidad y cerca de 200 kW de energía térmica (vapor). Estas unidades son conocidas como **sistemas combinados de generación de calor y potencia (CCCP)**.

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo 1, Segunda Edición, Wiley (2003).



# “Aplicaciones” de Celdas de Combustible.



**Figura 5.** Sistema de generación combinada de calor y energía eléctrica basado en celdas de combustible.

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo 1, Segunda Edición, Wiley (2003).

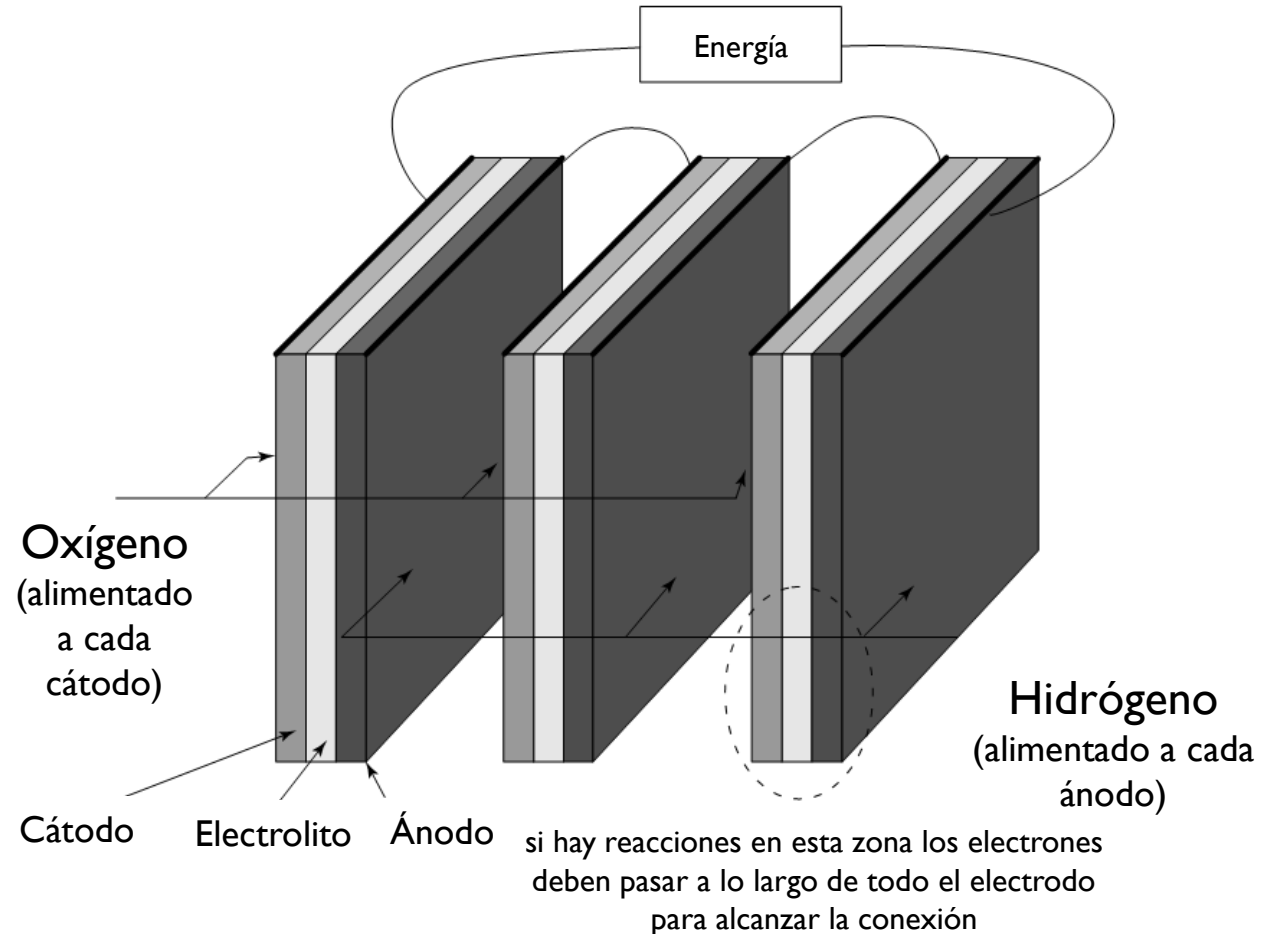
# Aspectos Técnicos de Celdas de Combustible.

## Stacks e Interconexiones.

- Una celda produce  $< 1,0V$   
→ conectar en serie.

### Interconexiones.

- Buen conductor eléctrico.
- Estable en ambiente reductor y oxidante.

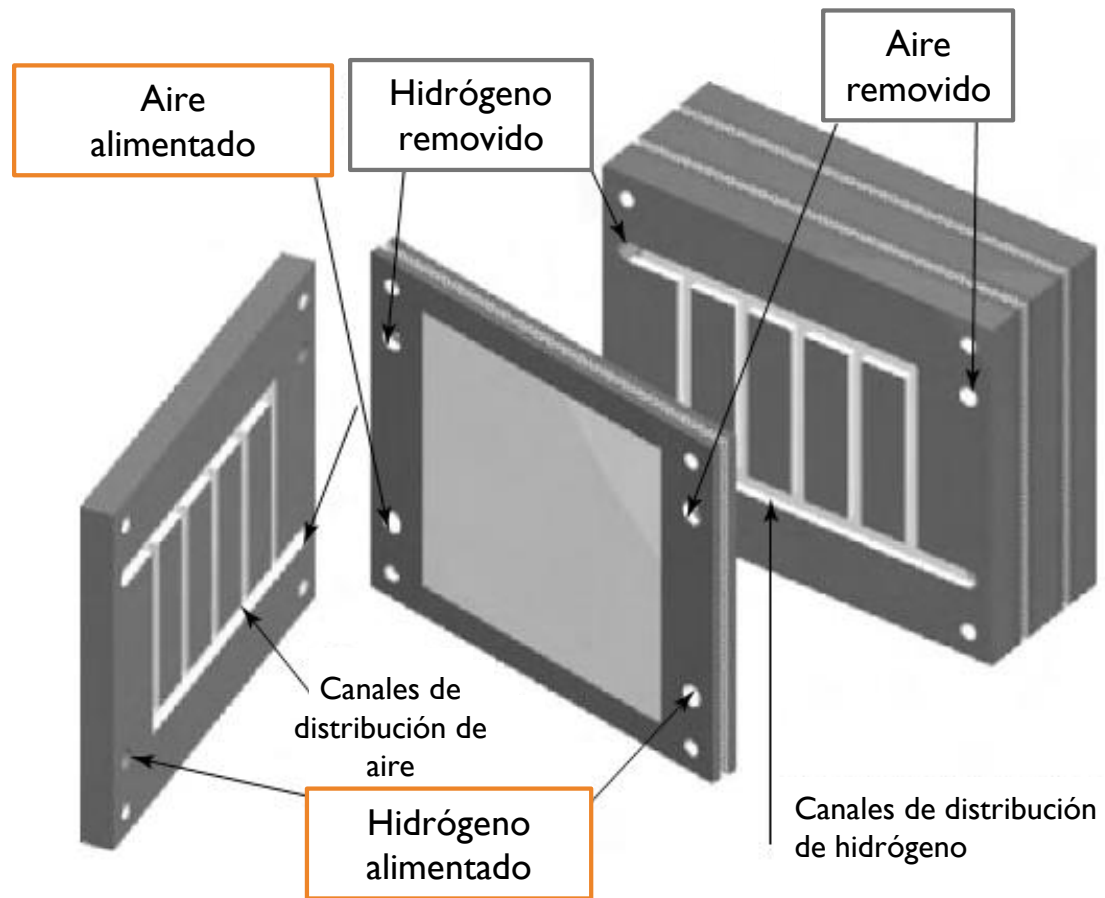


**Figura 6.** Esquema de tres celdas en serie conectadas por los extremos del cátodo/ánodo.

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo I, Segunda Edición, Wiley (2003).

# Aspectos Técnicos de Celdas de Combustible.

## Stacks e Interconexiones.



**Figura 7.** Distribuidor de gases interno: un plato bipolar más complejo permite a los gases reactantes ser alimentados a través de un único canal.  
(Ballard Power Systems)

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo 1, Segunda Edición, Wiley (2003).

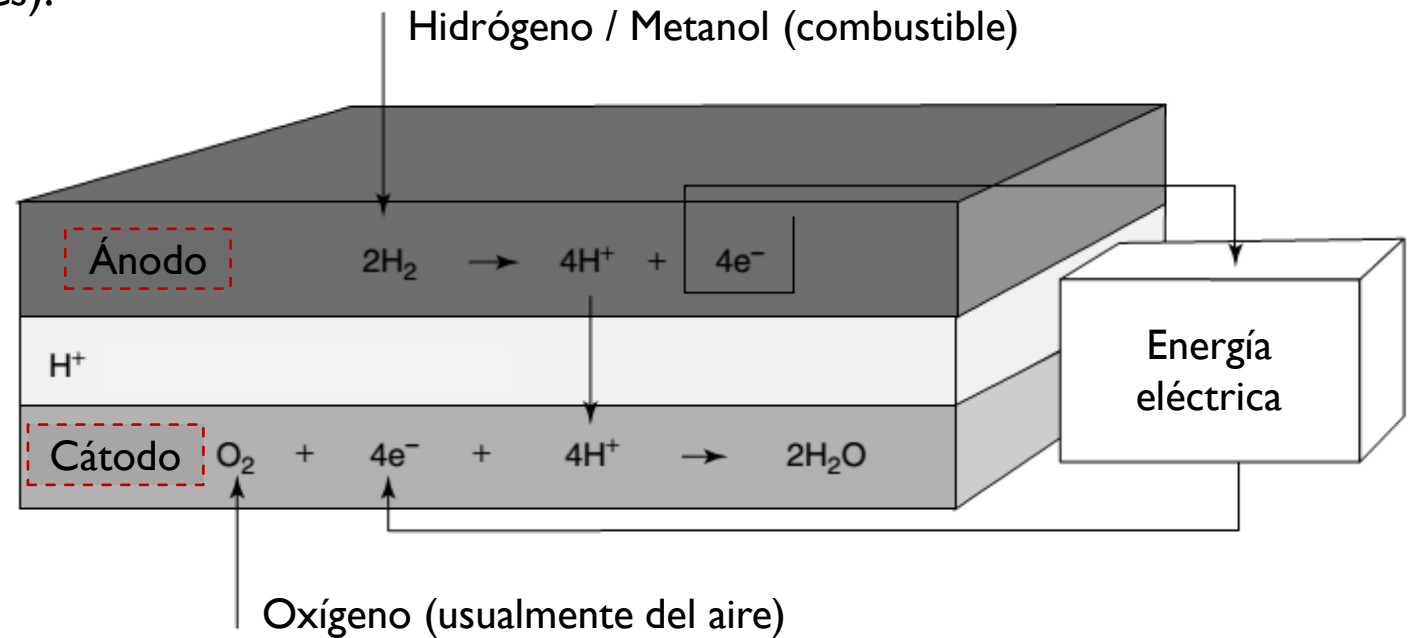
# Tipos de Celdas de Combustible.

## Celdas de Combustible de Electrolito Ácido.

- Membrana de Intercambio Protónico (*PEM-FCs*).
- Metanol Directo (*DMFCs*).
- Ácido Fosfórico (*PAFCs*).



**Figura 8.** Stacks de *PEM-FCs* desarrollados por Ballard Power Systems. (de 100 W l<sup>-1</sup> a 1,1 kW l<sup>-1</sup>)

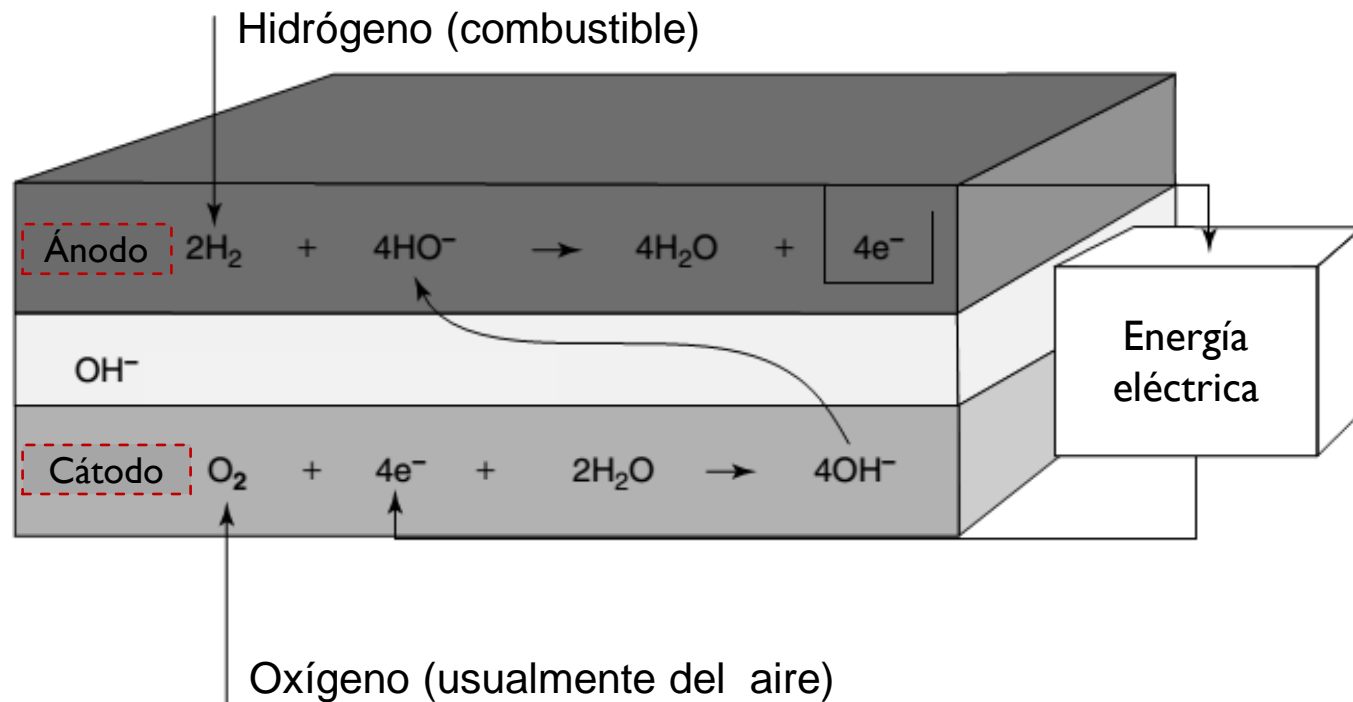


**Figura 9.** Celda de combustible de electrolito ácido.

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo I, Segunda Edición, Wiley (2003).

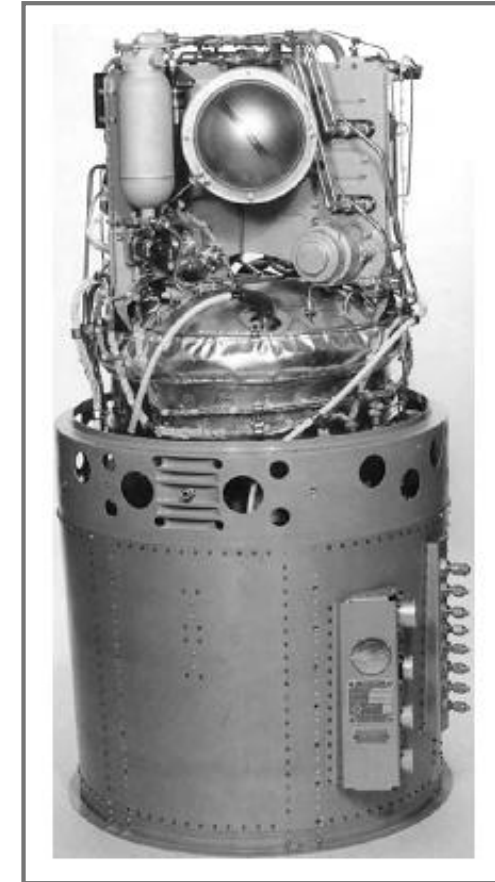
# Tipos de Celdas de Combustible.

## Celdas de Combustible de Electrolito Alcalino.



**Figura 10.** Celda de combustible de electrolito alcalino.

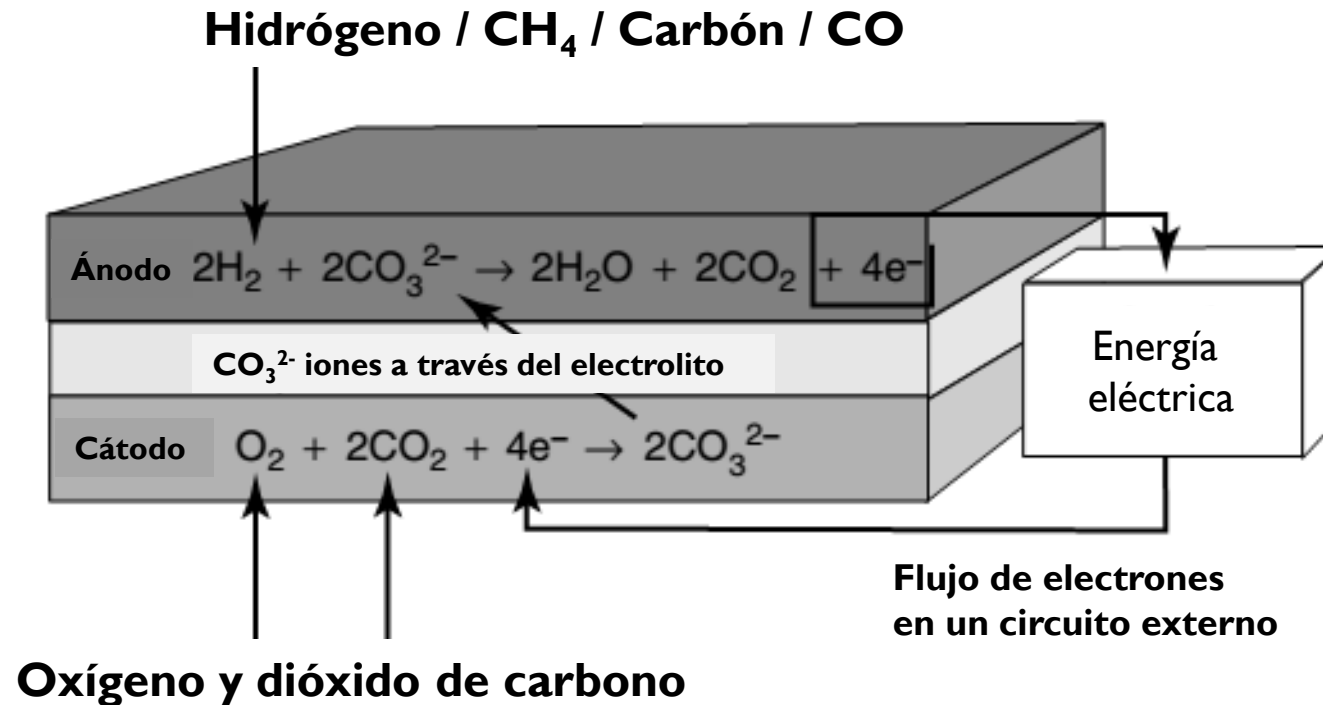
Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo 1, Segunda Edición, Wiley (2003).



**Figura 11.** Celda de 1,5 kW usada en la misión Apollo (generación electricidad y agua).

# Tipos de Celdas de Combustible.

## Celdas de Combustible de Carbonato (Hidróxido) Fundido.

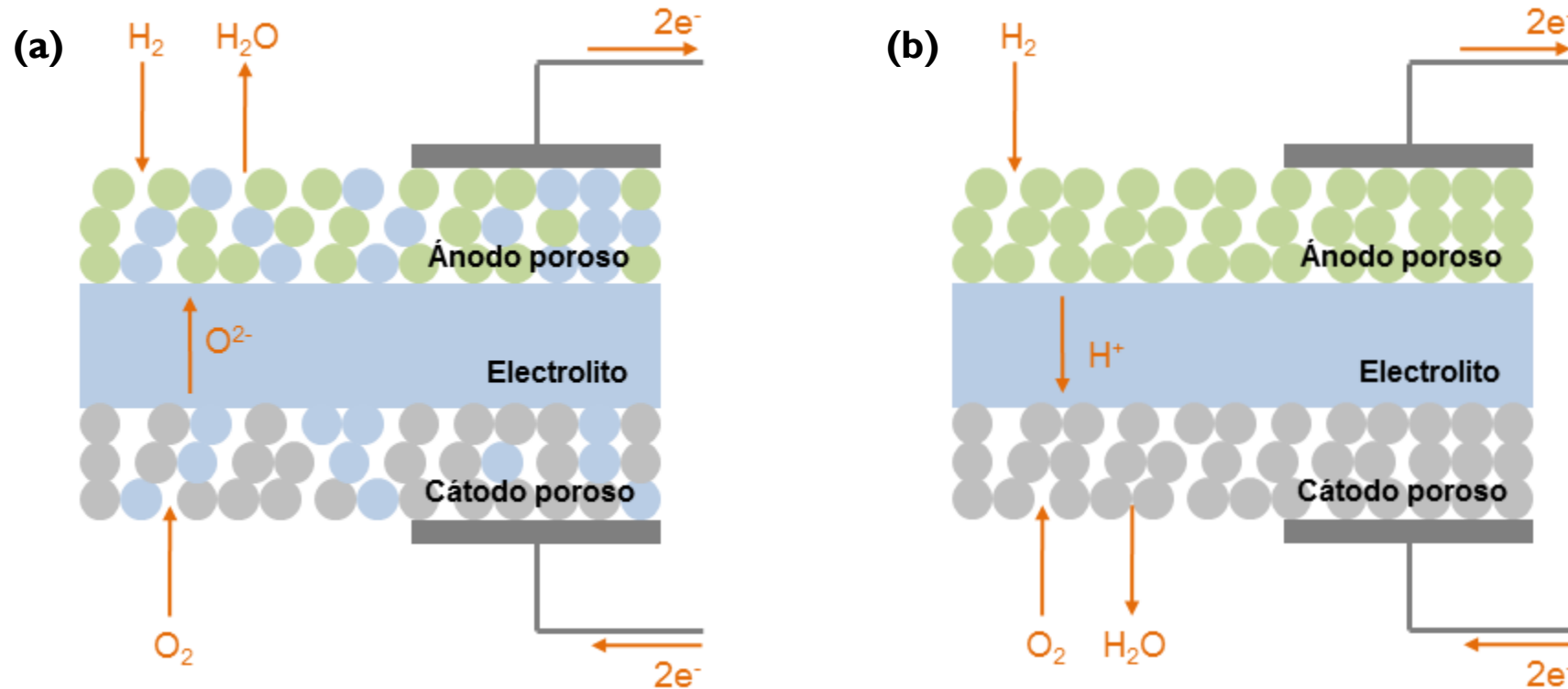


**Figura 12.** Celda de combustible de carbonato fundido (MCFCs).

Fuente: J. Larminie and A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, Capítulo 1, Segunda Edición, Wiley (2003).

# Tipos de Celdas de Combustible.

## Celdas de Combustible de Óxido Sólido.



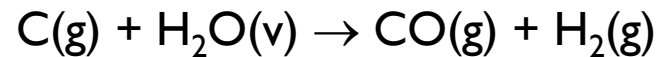
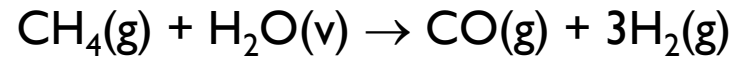
**Figura 13.** Esquema de una celda de combustible de óxido sólido (SOFCs) con (a) un electrolito conductor de iones óxido ( $O^{2-}$ ) y (b) un electrolito conductor de protones.

# Producción de Hidrógeno y Gas de Síntesis (H<sub>2</sub> + CO).

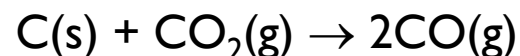
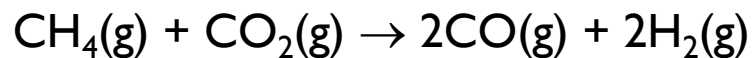
¿Cómo se produce hidrógeno (o gas de síntesis)?

Reformado

1.1. **Reformado húmedo**: hidrocarburos (carbón) + H<sub>2</sub>O(g)  
(gasificación)



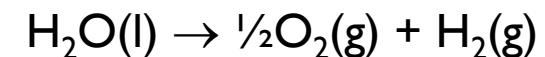
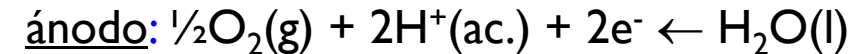
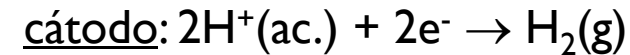
1.2. **Reformado seco**: hidrocarburos (carbón) + CO<sub>2</sub>(g)  
(gasificación)



Electrólisis

(foto-electrólisis)

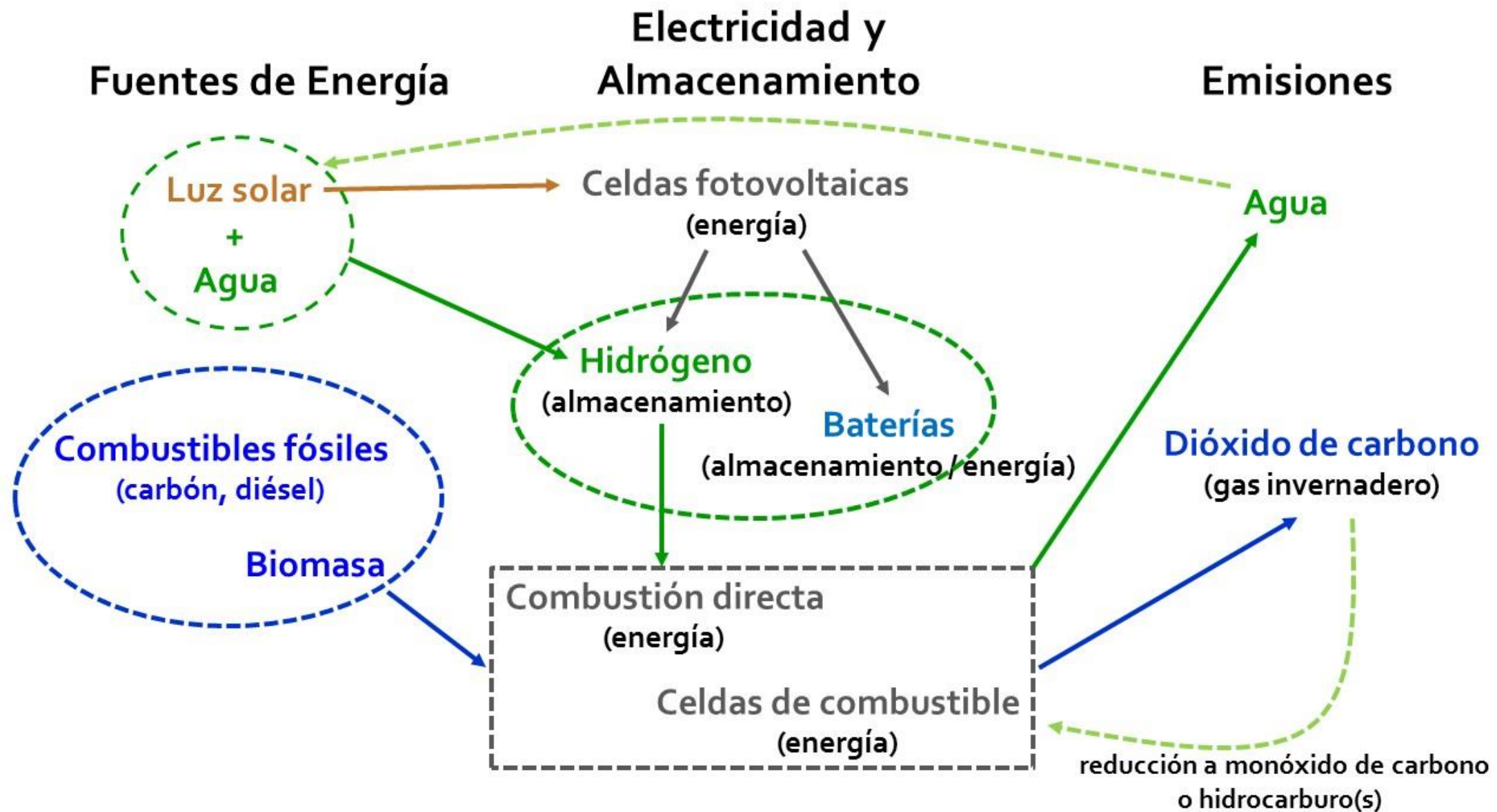
2.1. **Electrólisis**: electrolizador ≡ celda de combustible inversa  
(membrana de intercambio protónico o electrolito alcalino)



2.2. **Foto-electrólisis**: aprovechamiento energía solar  
(electrodos semiconductores)



# Combustibles, Generación de Energías y Emisiones.



# CELIDAS DE COMBUSTIBLE

ENERGÍA, PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

Melanie Colet Lagrille, Ph.D.  
Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología  
Universidad de Chile

[mcolet@ing.uchile.cl](mailto:mcolet@ing.uchile.cl)