



Escuela de Ingeniería Técnica Industrial  
*Industria Ingeniaritza Teknikoko Eskola*  
**EIBAR**

Av. Otaola 29 Eibar



Universidad del País Vasco  
Euskal Herriko Unibertsitatea



# **EIBARKO INGENIARITZA ESKOLAKO GARAPEN IRAUNKORRARI BURUZKO I. JARDUNALDIAK**

## **I JORNADAS SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE EIBAR**

**Cuando:** 4 y 5 de Junio de 2009

**Donde:** Escuela de Ingeniería de Eibar

**Noiz:** 2009ko ekainaren 4an eta 5ean

**Non:** Eibarko Ingeniaritza Eskola

Más información

<http://www.euiti-eibar.ehu.es>

Informazio gehiago

## SISTEMAS AVANZADOS DE MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA

Ponente / Txostengilea:

**José Ignacio San Martín Díaz**

Autores /Egileak:

**J.I. San Martín, I. Zamora, J.J. San Martín, I.J. Oleagordia, V. Aperribay**

# SISTEMAS AVANZADOS DE MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA

## ÍNDICE

**MICRO-REDES ELÉCTRICAS**

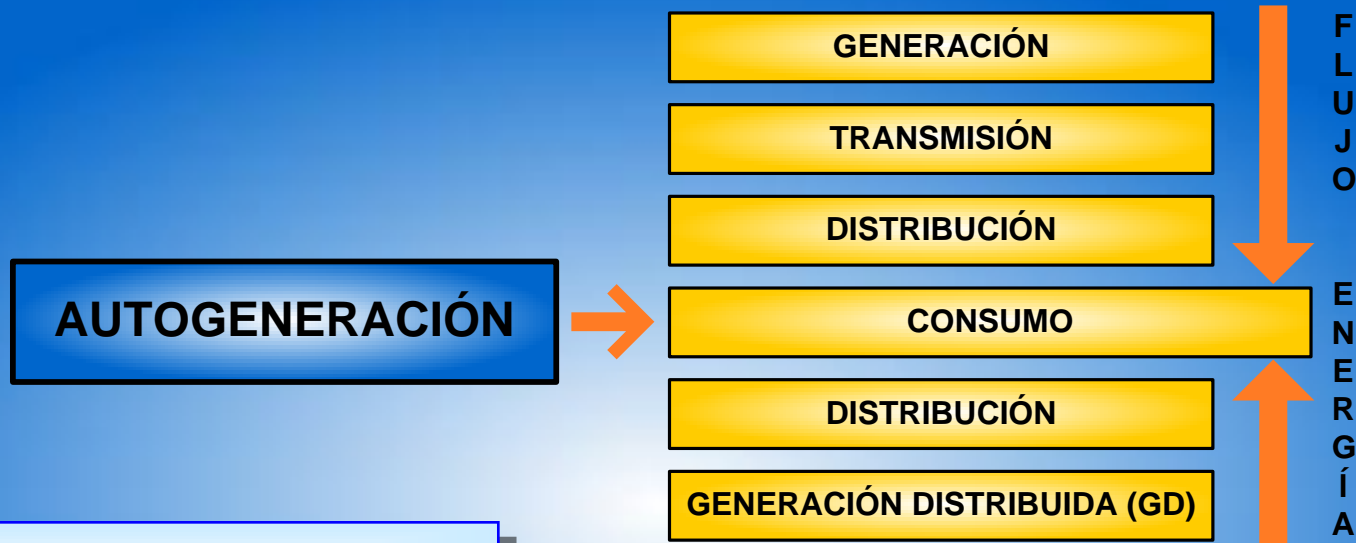
**TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

**TECNOLOGÍAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE**

**APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE**

**CONCLUSIONES**

# NUEVA CONCEPCIÓN DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA



## CAMBIOS TECNOLÓGICOS

- Rápido desarrollo de la microgeneración.
- Recuperación del calor residual.
- Reducción en las pérdidas de transmisión de la red eléctrica.
- Calidad de suministro eléctrico.
- Cumplimiento del Protocolo de Kioto.

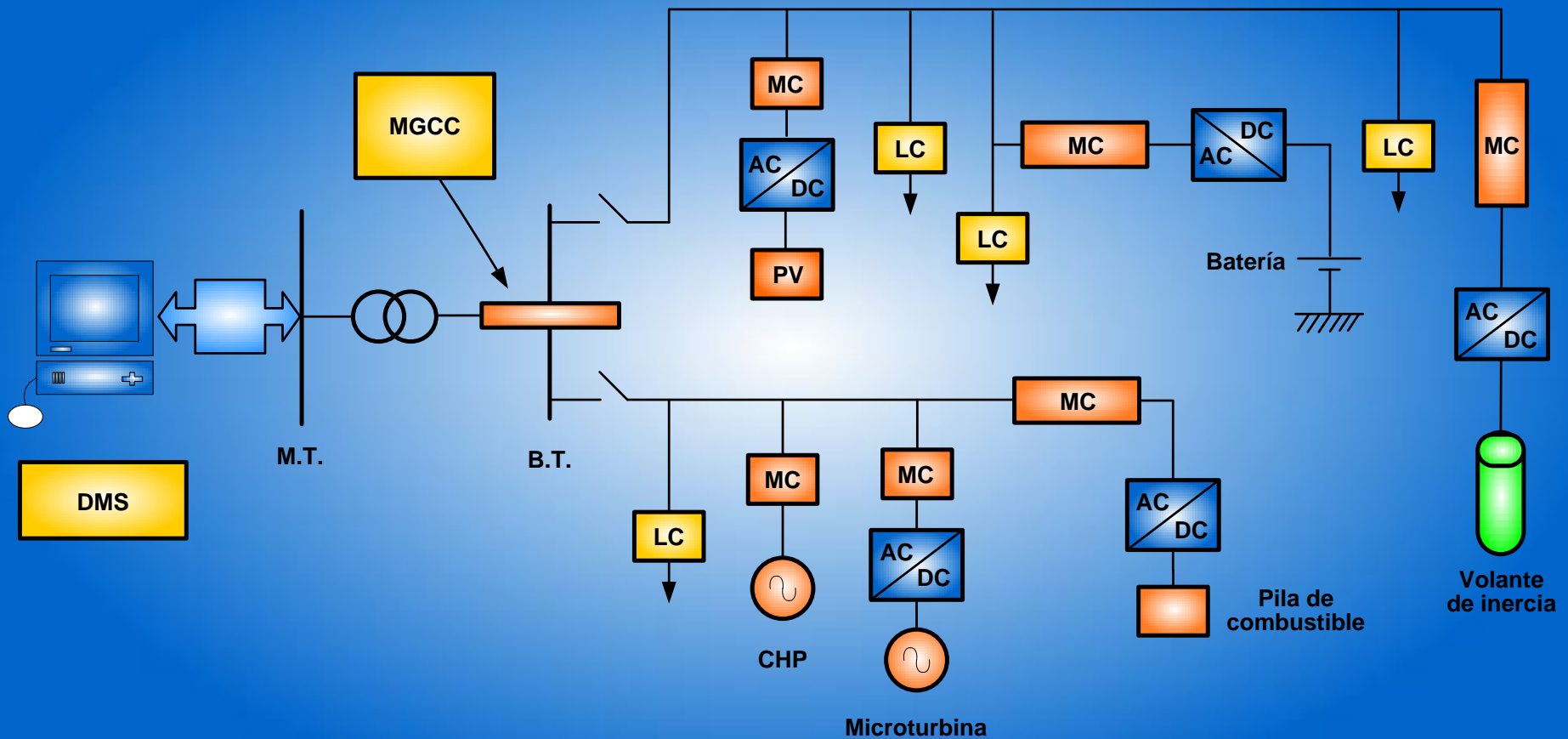
# MICRO-REDES ELÉCTRICAS

**Micro-red Eléctrica:** Grupo de microfuentes y cargas, operando como un único sistema, suministrando energía eléctrica y térmica, con funcionamiento autónomo o interconectado a la red principal, estando ubicado en entornos próximos al punto de consumo.

## Objetivos

- Reducción de emisiones a la atmósfera, incrementando la penetración de energías renovables.
- Incremento de la eficiencia global de los sistemas.
- Reducción en las pérdidas de transmisión.
- Disminución en los costes de inversión en redes.
- Capacidad de disminución de picos de consumo.
- Posibilidad de venta en el mercado eléctrico.
- Mejora de la calidad de suministro eléctrico.
- Electrificación de zonas rurales sin acceso a la energía eléctrica.

# PROTOTIPO DE MICRO-RED ELÉCTRICA



# SISTEMAS AVANZADOS DE MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA

## ÍNDICE

MICRO-REDES ELÉCTRICAS

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

TECNOLOGÍAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

CONCLUSIONES

# TECNOLOGÍAS EN MICROGENERACIÓN ELÉCTRICA



**MICROTURBINAS DE GAS**



**SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**



**MICROTURBINAS EÓLICAS**

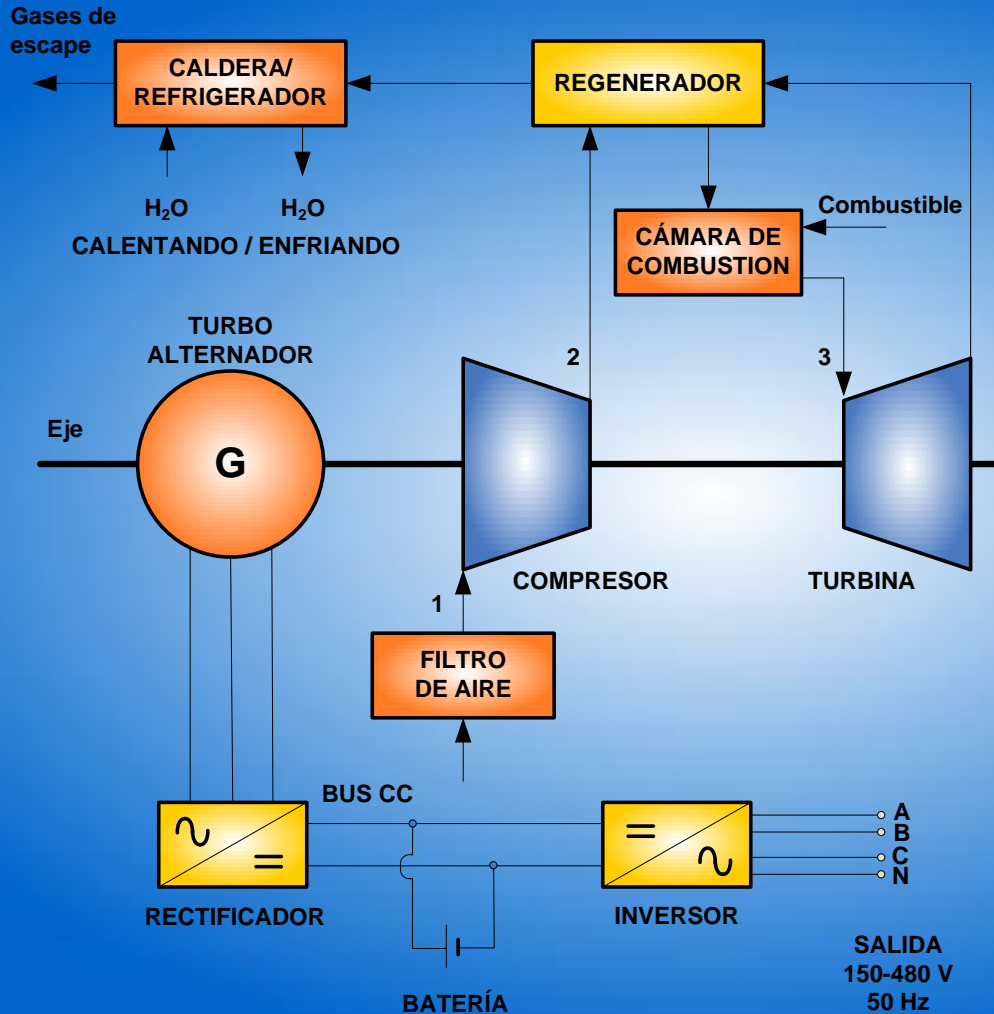


**PILAS DE COMBUSTIBLE**



# MICROTURBINA DE GAS DE EJE SIMPLE

## Esquema de funcionamiento



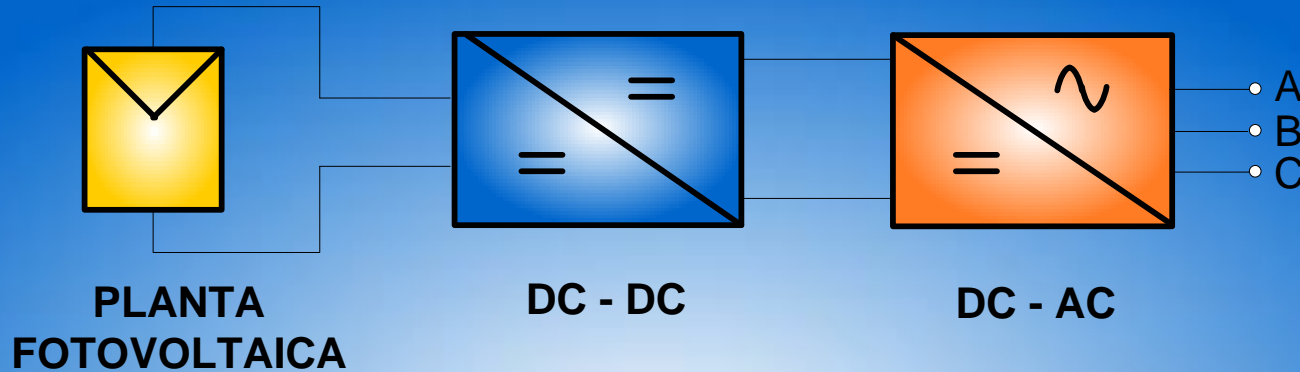
### Eficiencia Termodinámica

$$\eta = 1 - \frac{r^{(\gamma-1)/\gamma}}{t}$$

### Eficiencia Global

$$E_g = \frac{W_e + Q_{hr}}{Q_f}$$

# SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



$$P_{Máx} = N \frac{G_a}{1000} \left[ P_{Máx,0}^M + \mu_{P_{Máx}} \left( T_a + G_a \frac{NOCT - 20}{800} - 25 \right) \right]$$

$N$  Número de módulos de paneles fotovoltaicos

$G_a$  Radiación [ $W/m^2$ ]

$P_{Máx,0}^M$  Potencia máxima del módulo (condiciones estándar)

$\mu_{P_{Máx}}$  Coeficiente de variación de potencia con la temperatura del módulo [ $W/^\circ C$ ]

$T_a$  Temperatura ambiente [ $^\circ C$ ]

$NOCT$  Temperatura de funcionamiento normal de la Planta Fotovoltaica [ $^\circ C$ ]

# MICROTURBINAS EÓLICAS

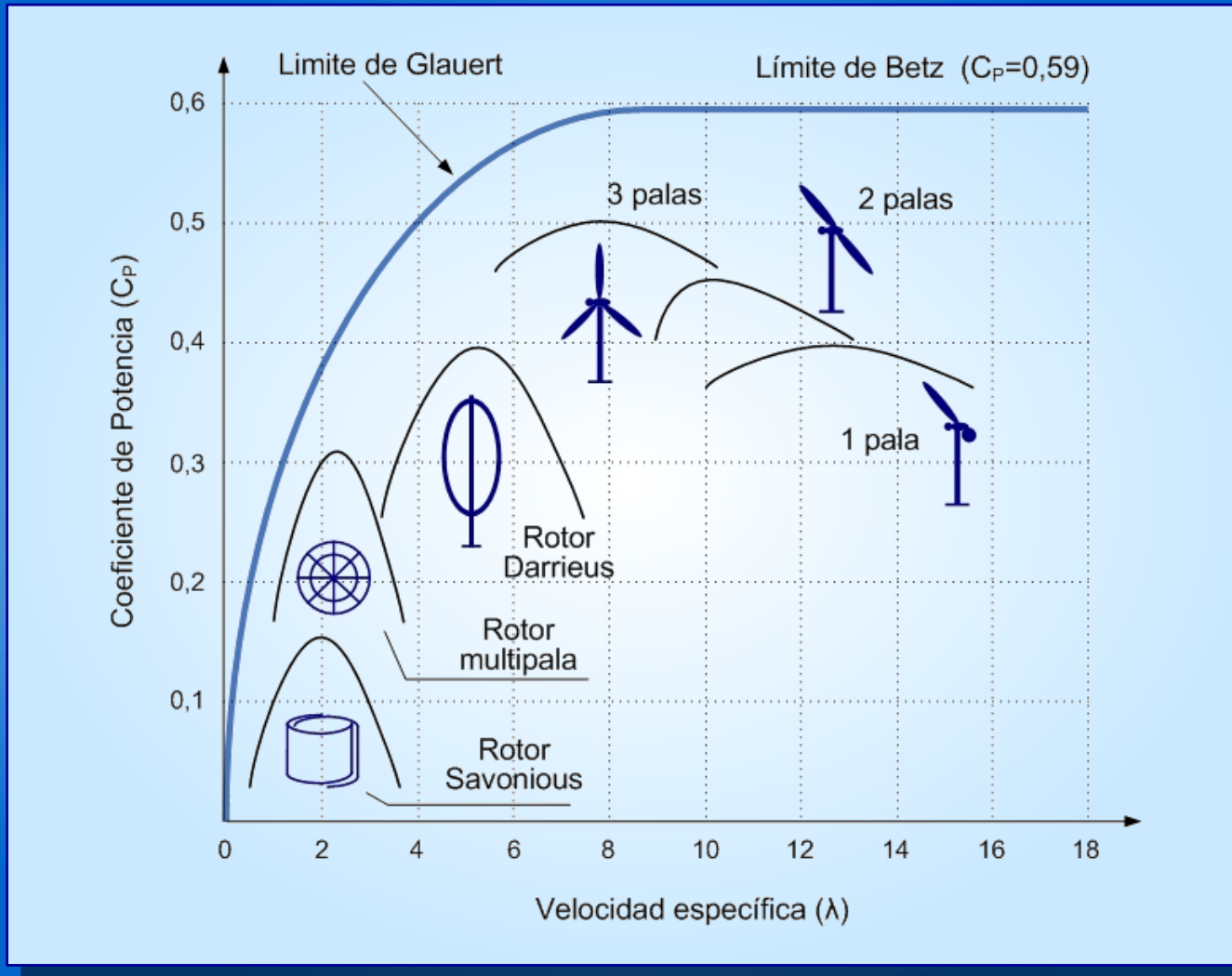
Las normas de certificación de las microturbinas del Comité Electrotécnico Internacional IEC 1400-2. Pequeños aerogeneradores

- Superficie de captación inferior a 40 m<sup>2</sup>.
- Revisión. Superficie de captación hasta 200 m<sup>2</sup>.

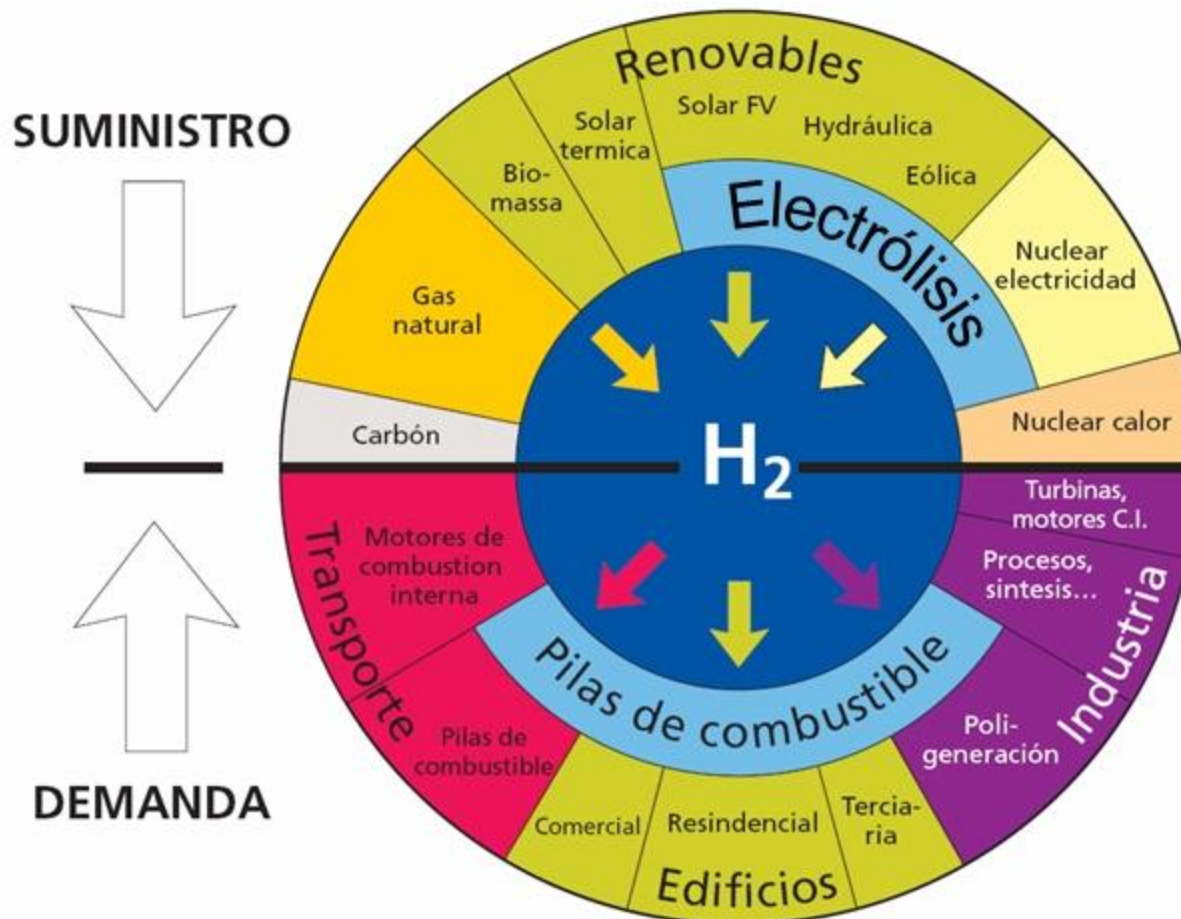
Generador. Análisis de la tecnología

- Generador eléctrico. Conexión directa del rotor.
- Rango de 3 – 30 kW.
  - Alternador de imanes permanentes (Bornay, Bergey, Westwind, Provent, LMW).
  - Generadores de inducción (Energía Australiana 5kW, Wenus Inventus, Vergnet).
  - AOC.

# CLASIFICACIÓN DE PEQUEÑOS AEROGENERADORES



# FUENTES DE ENERGÍA PRIMARIA



# TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO

## Hidrógeno

Es el elemento más abundante de la naturaleza

Almacena la mayor cantidad de energía por unidad de peso ( $12 \times 10^4 \text{ kJ/kg} \equiv 33,3 \text{ kWh/kg}$ )

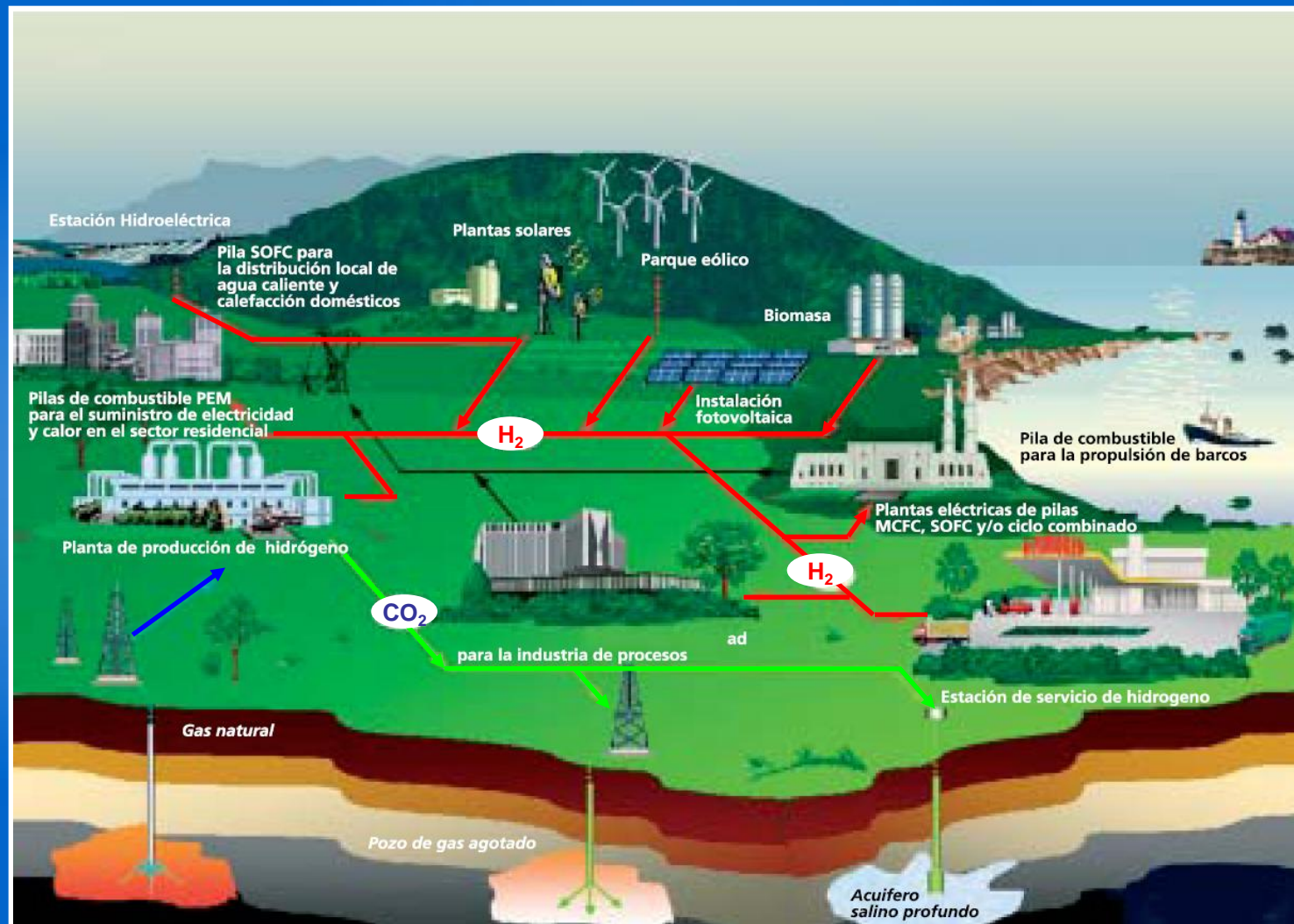
GAS: a alta P ~ 200-300 atm (recipientes de acero o aluminio reforzado con fibras de vidrio/carbono)

LÍQUIDO: a T (-253 °C). Proceso de licuación y su mantenimiento supone 35-40 % del contenido energético del hidrógeno

HIDRURO: metales y aleaciones permiten almacenar hidrógeno en un proceso reversible bajo la forma de hidruro metálico

Avances del almacenamiento en nanoestructuras de carbono

# VISIÓN DE LA U.E. RESPECTO DEL HIDRÓGENO



# SISTEMAS AVANZADOS DE MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA

## ÍNDICE

MICRO-REDES ELÉCTRICAS

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

TECNOLOGÍAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

CONCLUSIONES



# PILAS DE COMBUSTIBLE

## CONCEPTOS

- Producen energía eléctrica por transformación electroquímica de la energía potencial del combustible.
- Los combustibles pueden ser H<sub>2</sub>, hidrocarburos simples y derivados tales como los alcoholes.
- Los combustibles puros eliminan los problemas asociados con la contaminación (S, NO, etc.).
- Las tecnologías de las células de combustible tienen alta eficiencia, bajas emisiones, carácter modular y funcionamiento silencioso.
- Posibilitan el uso de calor residual, incrementando notablemente la eficiencia global de los sistemas.
- Sistemas híbridos. Integración de las células de combustible con las microturbinas de gas.

## PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO

- Reformado del Gas natural con vapor.
- Oxidación parcial de hidrocarburos.
- Oxidación parcial de carbón.
- Separación de carbón e hidrógeno a partir de los hidrocarburos.
- Procesos reformadores de pequeño tamaño y oxidación parcial.
- Energías renovables.
- Electrólisis.

# PILAS DE COMBUSTIBLE

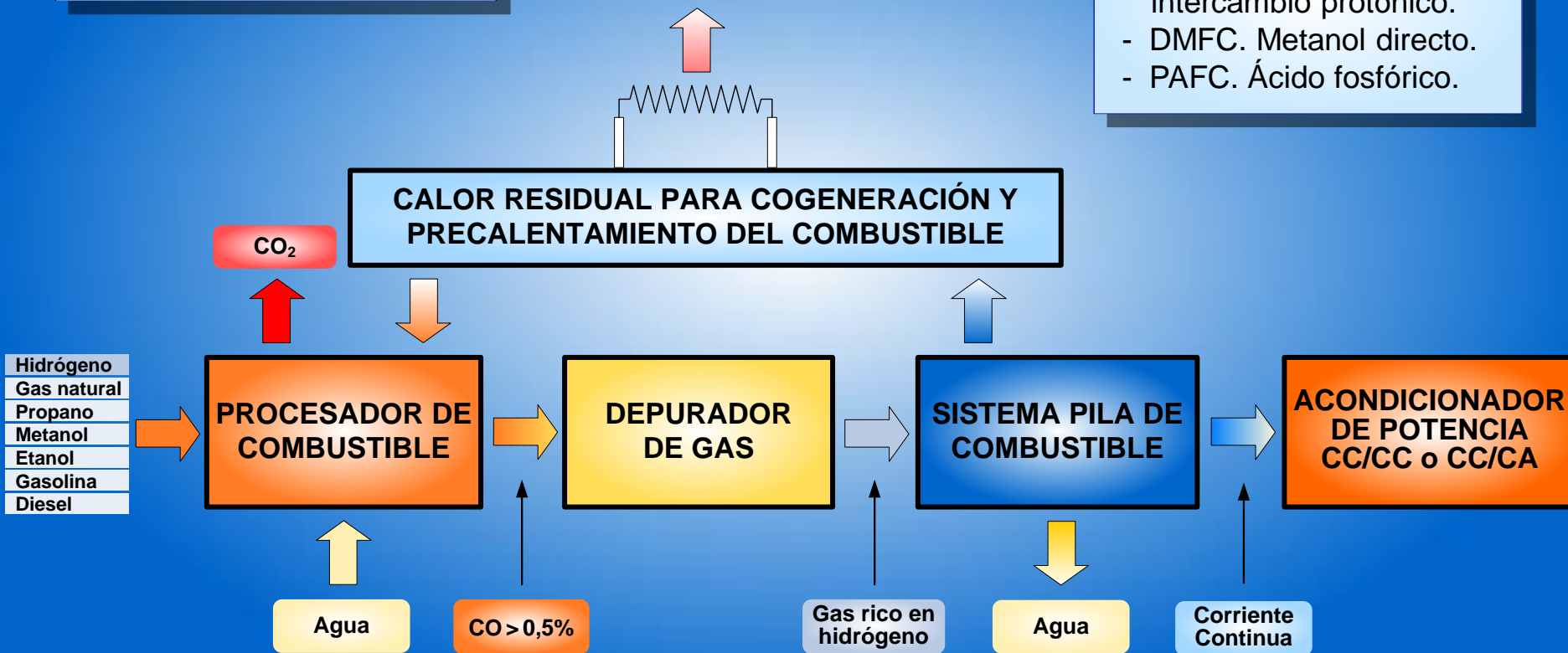
## Clasificación y Diagrama de Bloques

### ALTA TEMPERATURA

- MCFC. Carbonato fundido
- SOFC. Óxido sólido.

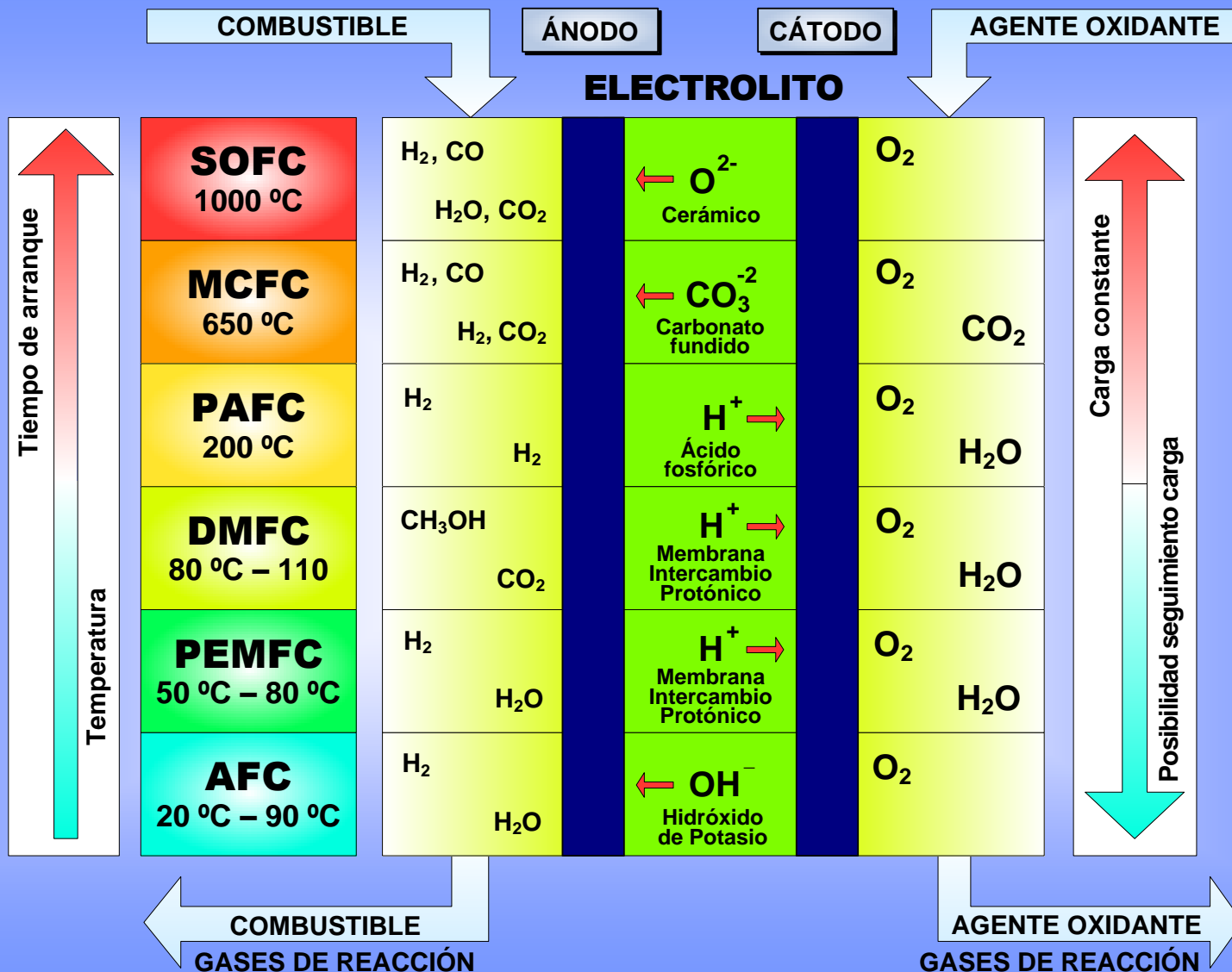
### BAJA TEMPERATURA

- AFC. Alcalina.
- PEMFC. Membrana de intercambio protónico.
- DMFC. Metanol directo.
- PAFC. Ácido fosfórico.



# PILAS DE COMBUSTIBLE

## Resumen de Tecnologías

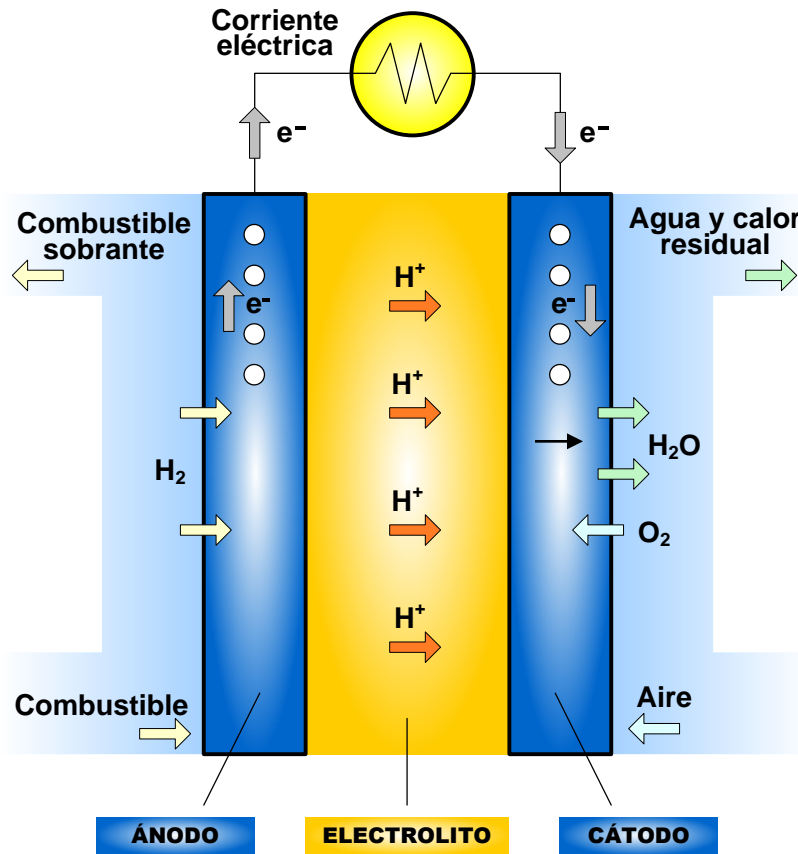


# PILAS DE COMBUSTIBLE

## Propiedades relevantes y Características

	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Electrolito	KOH (líquido)	Membrana Intercambio Protónico (sólido)	Membrana Intercambio Protónico (sólido)	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (líquido)	Carbonato fundido (líquido)	Cerámico (sólido)
Combustible	H <sub>2</sub> muy puro	H <sub>2</sub> puro	CH <sub>3</sub> OH + H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> , algo de CO CH <sub>3</sub> OH	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub>
Temperatura (°C)	60 - 90	30 - 80	60 - 130	130 - 220	650	750 - 1050
Catalizador	Pt	Pt	Pt	Pt	Ni	Perovkita
Eficiencia	55 - 60%	40% (CH <sub>4</sub> ) 60% (H <sub>2</sub> )	32 - 40%	36 - 45%	50 - 60%	50 - 60%
Rango de potencia	1kW - 100kW	1W - 100kW	1W - 1MW	200kW - 10MW	500kW - 10MW	1kW - 10 MW
Aplicación	Espacial Portátil Transporte	Espacial Portátil Transporte Estacionaria	Portátil Transporte	Transporte Estacionaria	Transporte Estacionaria	Transporte Estacionaria

# PILA DE COMBUSTIBLE PEMFC



## Reacciones:

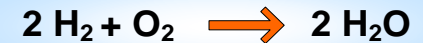
ÁNODO



CÁTODO



GLOBAL



Ventajas

Inconvenientes

Electrolito	Temperatura	Combustible	Portadores de Carga	Catalizador	Agua como Producto	Densidad de Potencia	Eficiencia Eléctrica	Eficiencia con Cogeneración	Rango Típico de Potencia	Aplicaciones Típicas
Membrana Intercambio Protónico (Sólido)	50 – 80 °C	H <sub>2</sub> Puro	H <sup>+</sup>	Pt,Ru	Vapor	3 – 7 kW/m <sup>2</sup>	40 – 60 %	70 – 80 %	1W – 10 MW	Estacionaria Transporte Portátil Espacial

# SISTEMAS AVANZADOS DE MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA

## ÍNDICE

MICRO-REDES ELÉCTRICAS

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

TECNOLOGÍAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

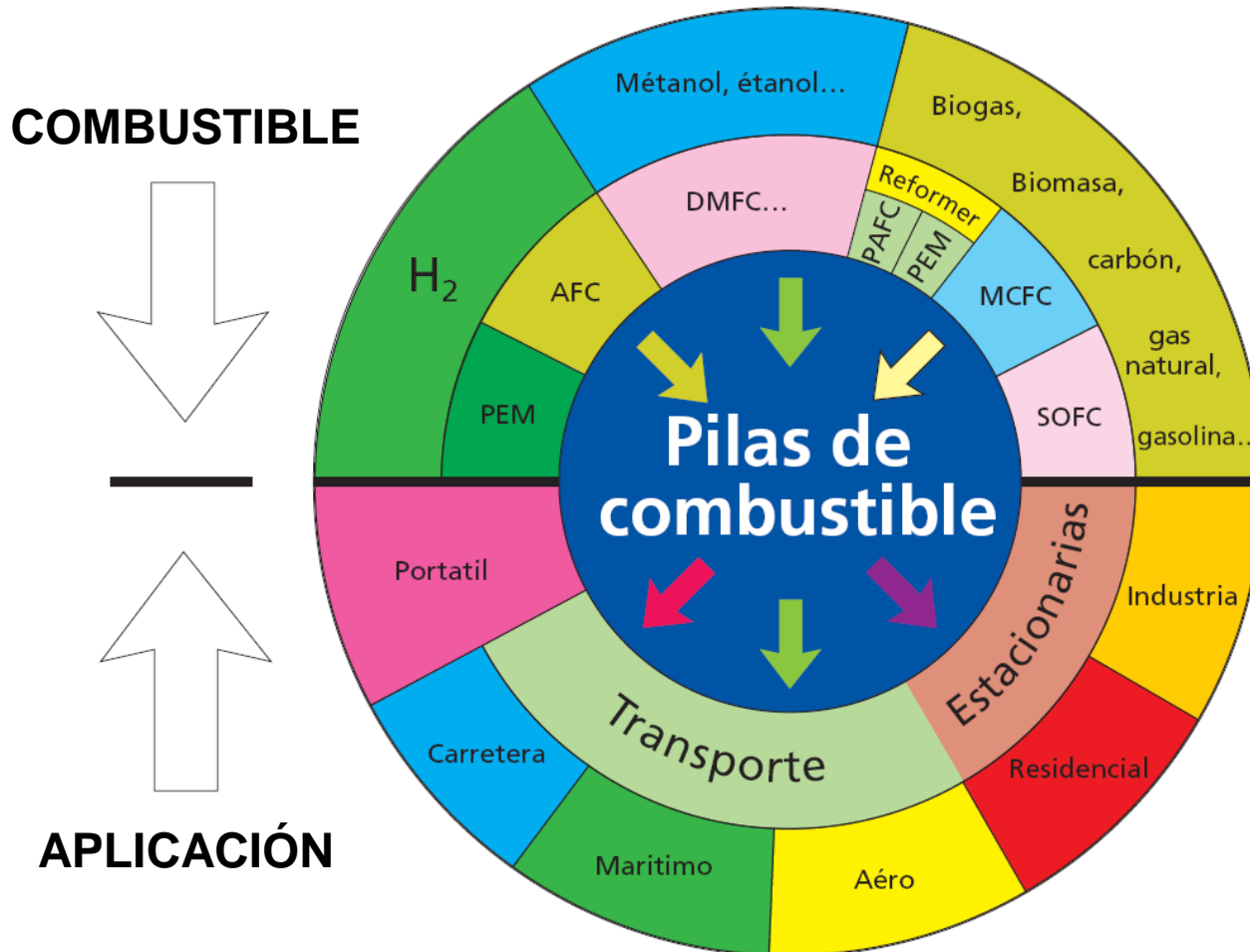
CONCLUSIONES

# TECNOLOGÍAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE Y APLICACIONES

SISTEMAS AVANZADOS DE  
MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA



I Jornadas sobre Desarrollo Sostenible  
Garapen Iraunkorari buruzko I Jardunaldiak  
Escuela de Ingeniería de Eibar / Eibarko Ingeniaritza Eskola



# TECNOLOGÍA SOFC

SISTEMAS AVANZADOS DE  
MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA



I Jornadas sobre Desarrollo Sostenible  
Garapen Iraunkorrari buruzko I Jardunaldiak  
Escuela de Ingeniería de Eibar / Eibarko Ingeniaritza Eskola





# DATOS DE OPERACIÓN (21-Enero-2008)

Horas de funcionamiento en el Proyecto EOS: 13.103

Energía producida hasta la fecha en el Proyecto EOS: 1.607 MWh DC

Tensión: 248 V DC ; Intensidad: 502 A DC ; Potencia: 124,5 kW DC

Temperatura del stack: 955 °C ; Potencia generada: 115 kW AC

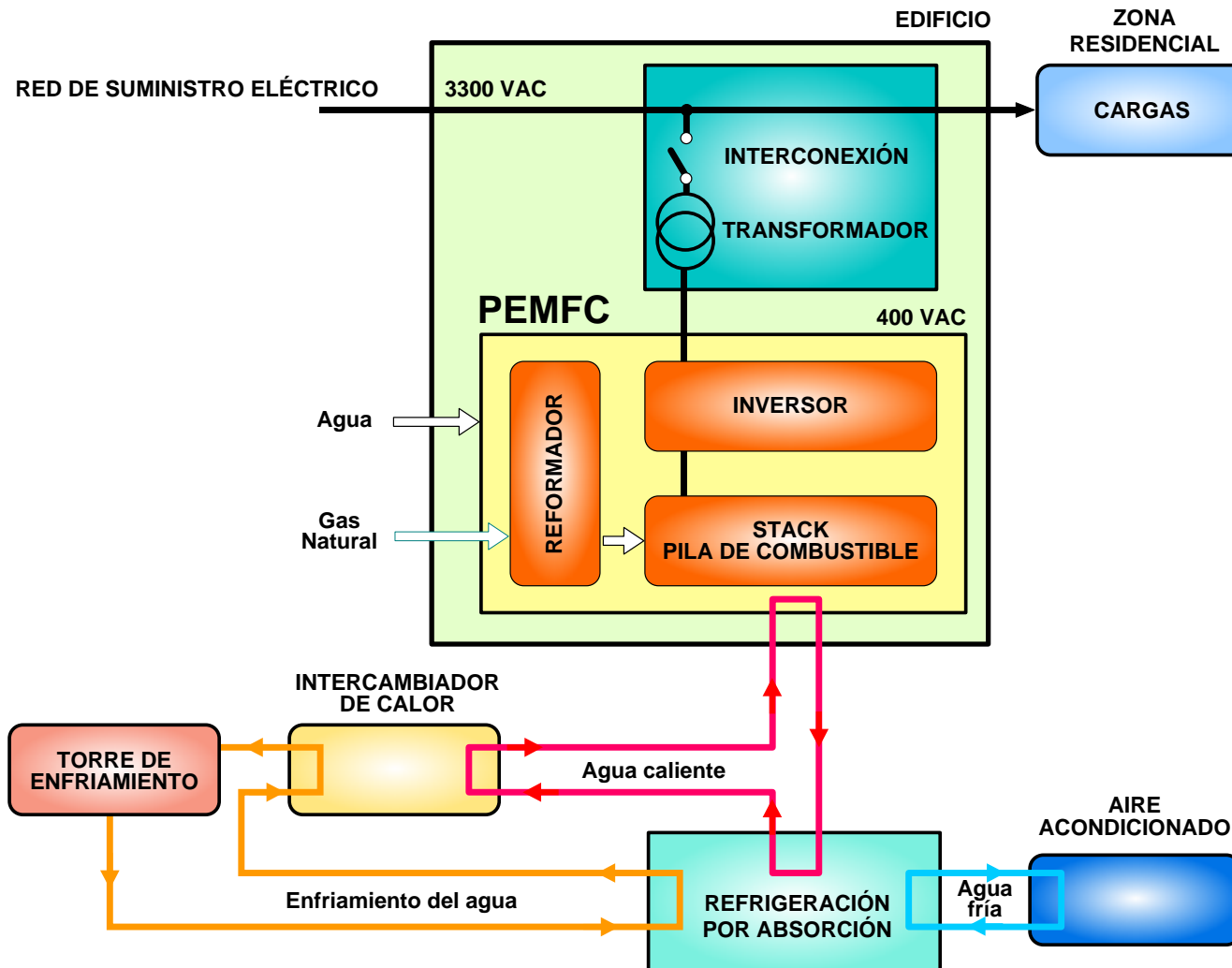
Generación de calor: Agua caliente a 80 °C, Potencia 55 kWt

Trigeneración: Agua fría a 7 °C en el refrigerador por absorción

Fiabilidad muy alta: 99%

Fácil mantenimiento (sustitución de filtros de aire y reactivos de desulfurización)

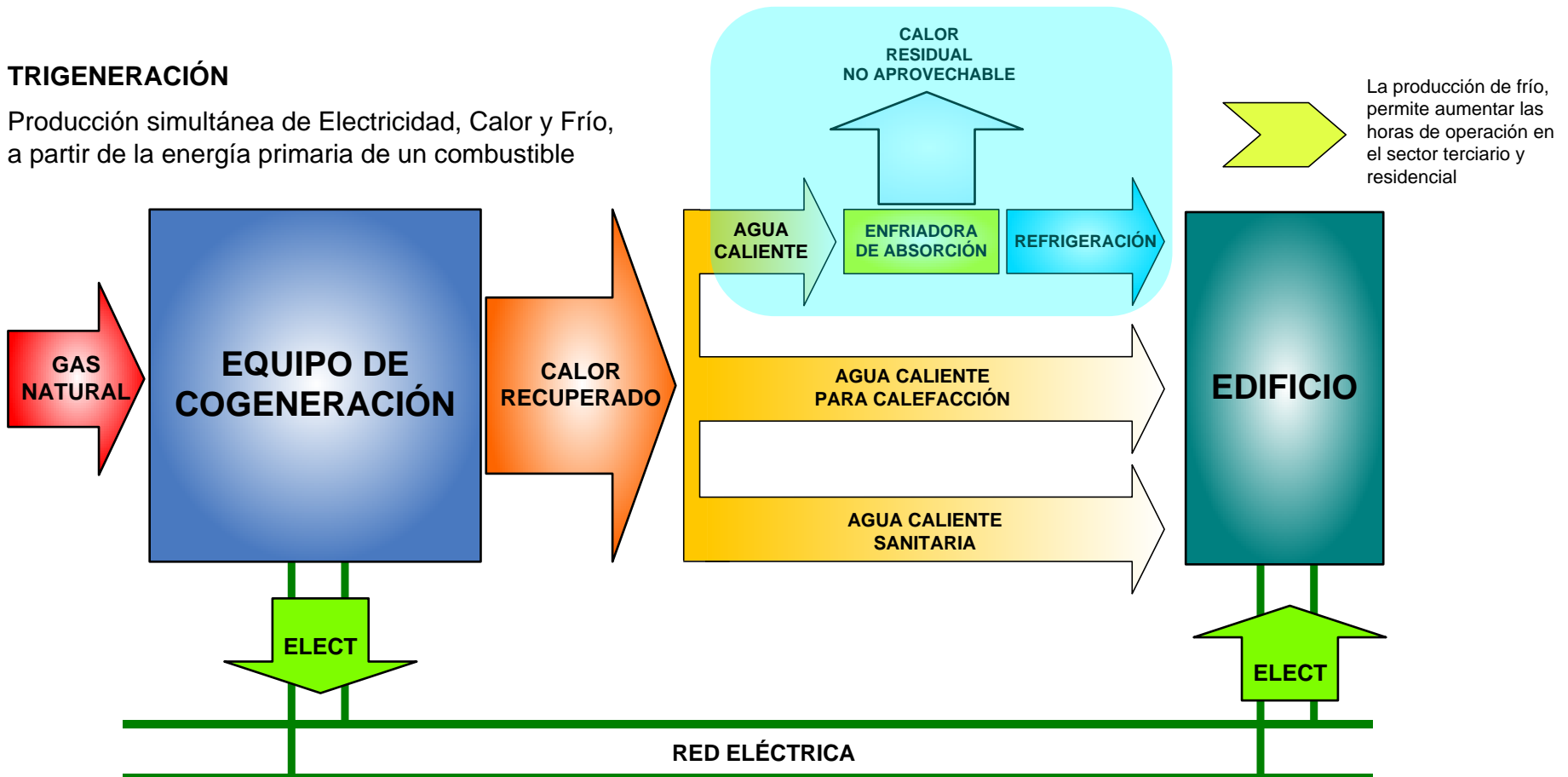
# SISTEMA DE COGENERACIÓN CON PEMFC



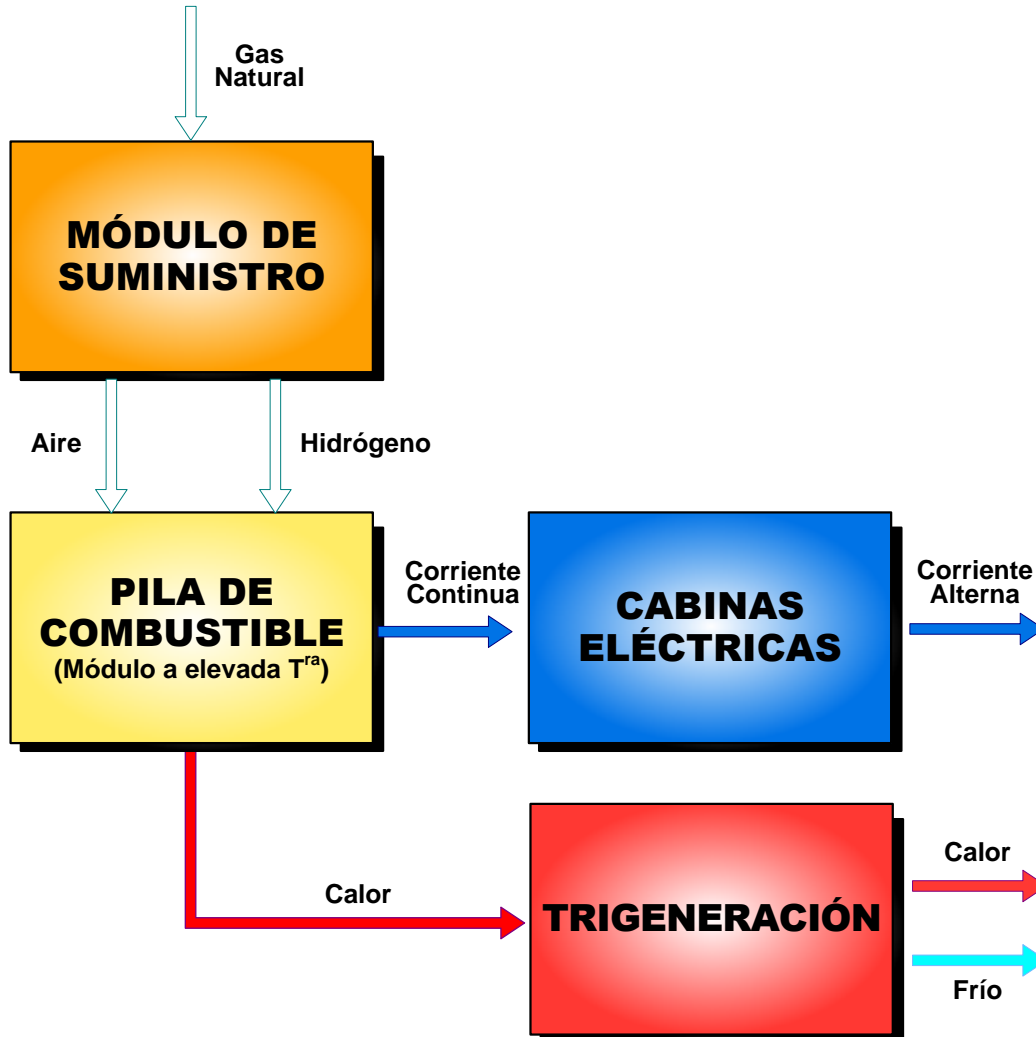
# CONCEPTOS BÁSICOS DE TRIGENERACIÓN

## TRIGENERACIÓN

Producción simultánea de Electricidad, Calor y Frío,  
a partir de la energía primaria de un combustible



# TRIGENERACIÓN CON MCFC



# INSTALACIONES OBJETO DE ESTUDIO CON PILAS DE COMBUSTIBLE



**RWE  
Alemania**



**Clínica Otto-von-Guericke  
Alemania**



**DeTelmobilien  
Alemania**



**Clínica Rhön  
Alemania**



**Mercedes Benz  
USA**



**LADWP  
USA**



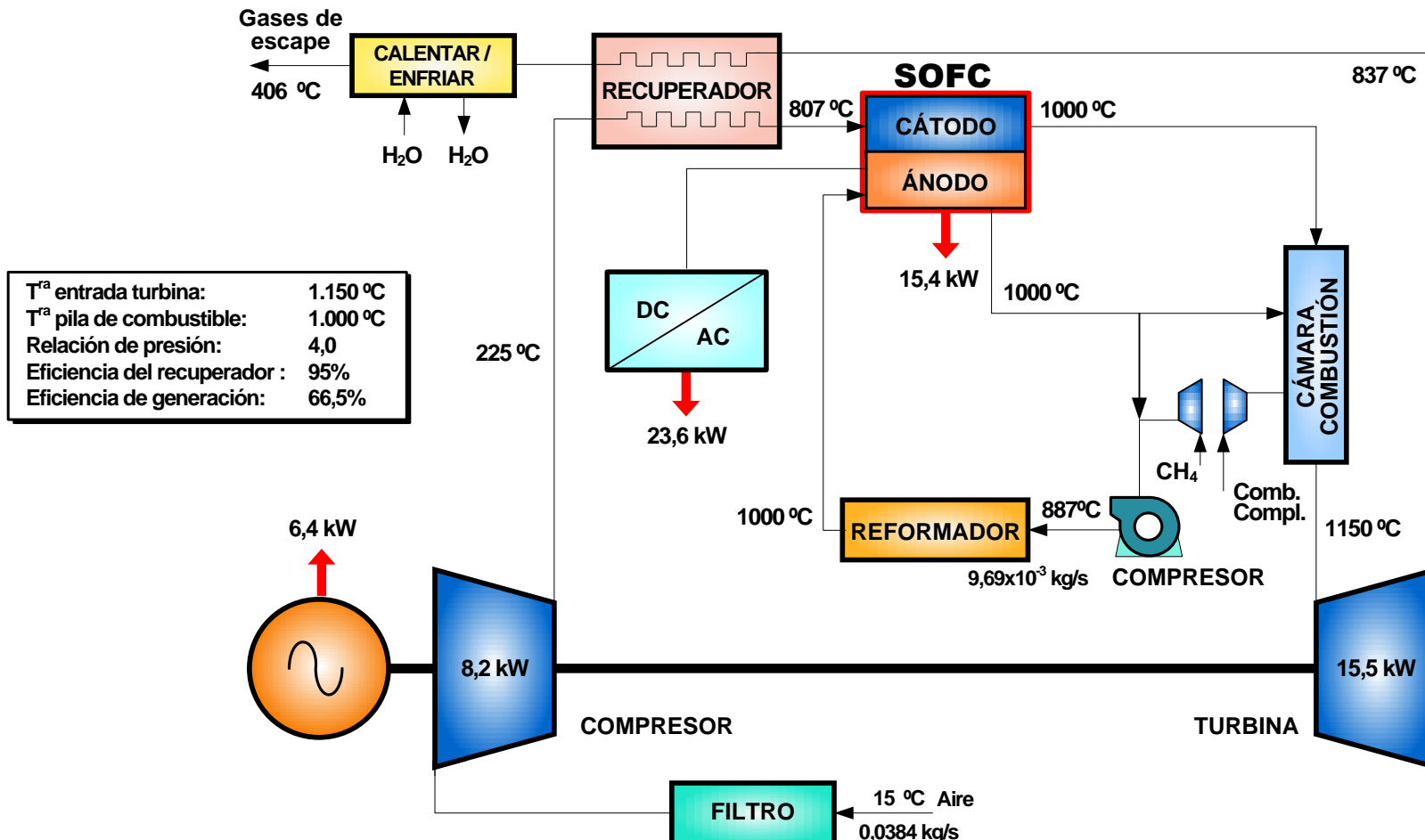
**Michélin  
Alemania**



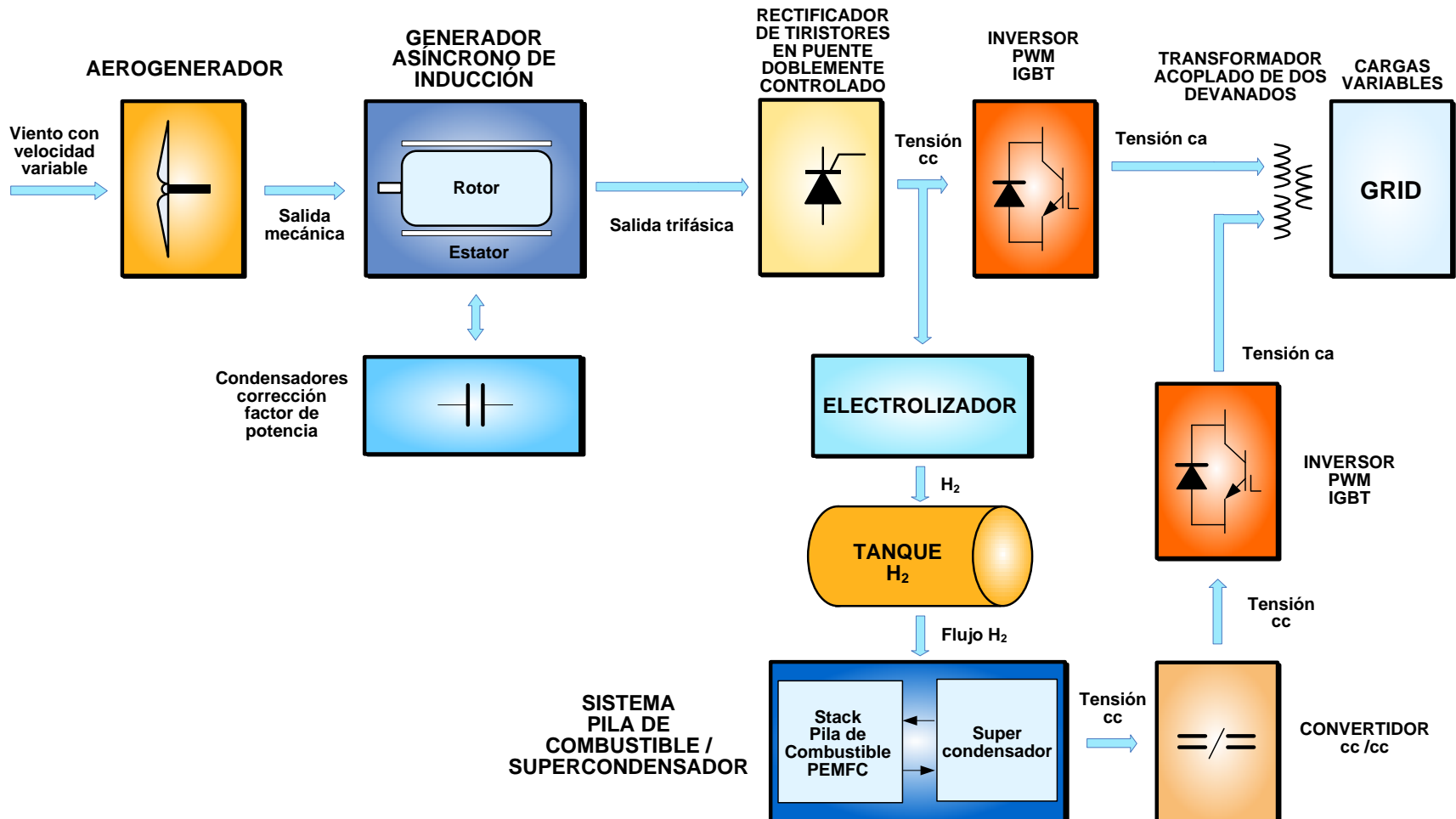
**IZAR  
España**

# SISTEMA HÍBRIDO

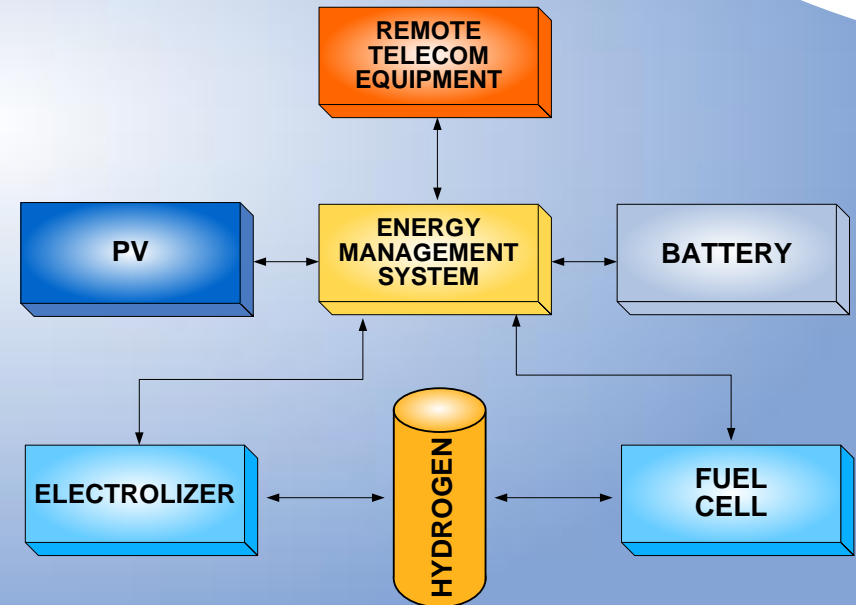
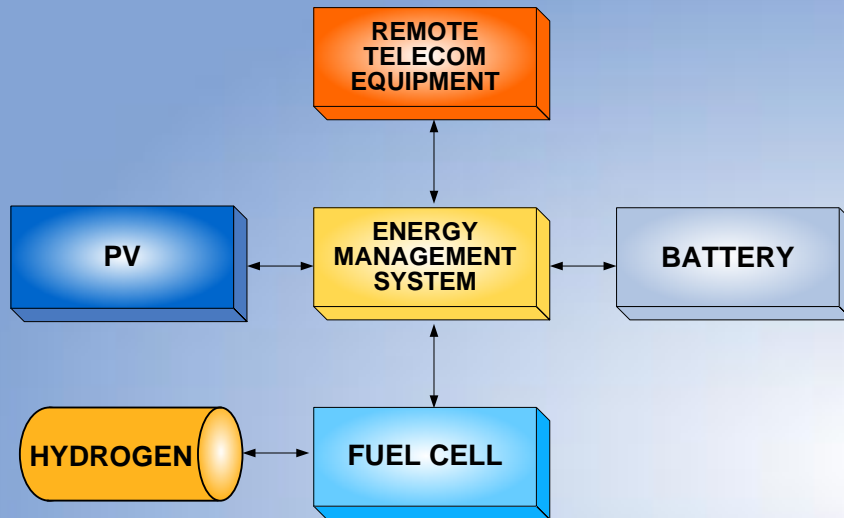
## SOFC – MICROTURBINA DE GAS



# SISTEMA HÍBRIDO AEROGENERADOR - PEMFC



# PROYECTO FIRST





# APLICACIONES EN AUTOMOCIÓN (1)

SISTEMAS AVANZADOS DE  
MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

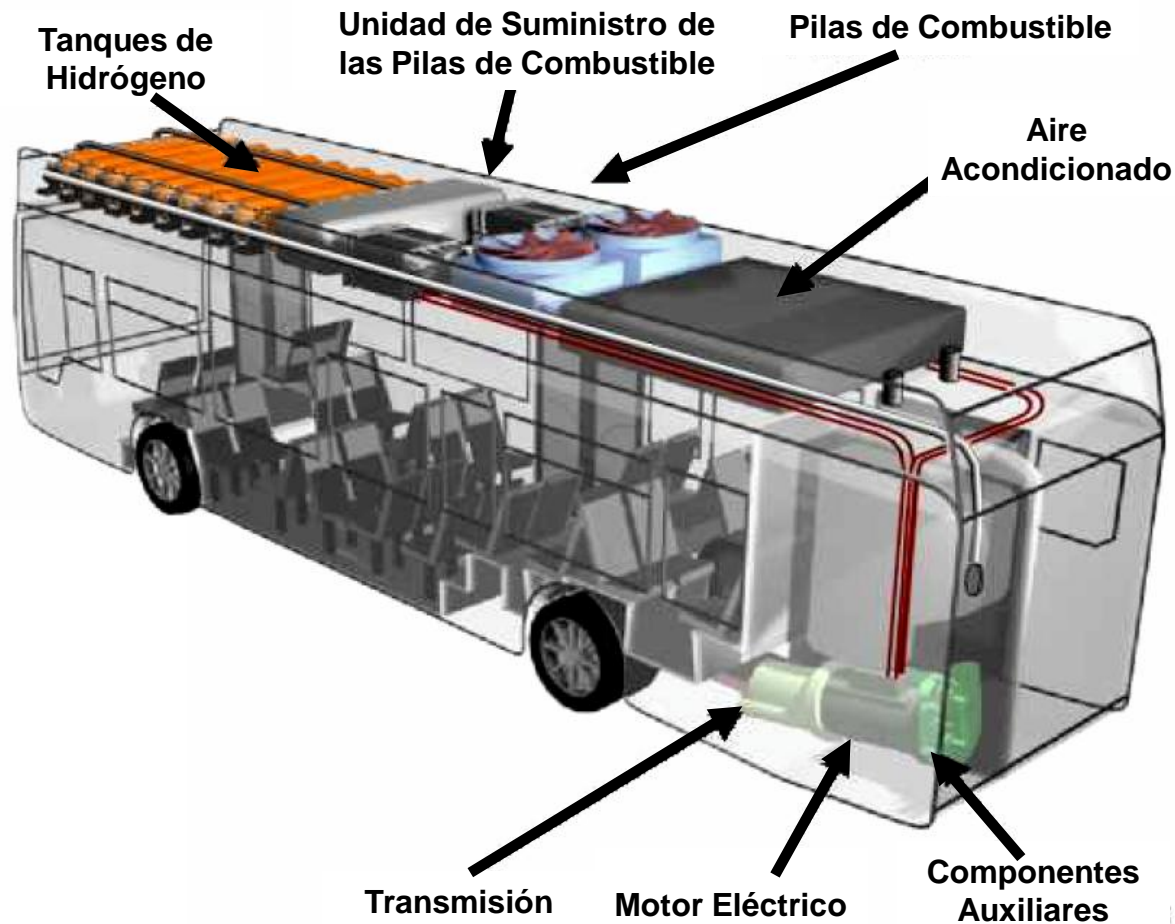


Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Instalación y Operación de Máquinas y Motores Térmicos  
EUSA

I Jornadas sobre Desarrollo Sostenible  
Garapen Iraunkorari buruzko I Jardunaldiak  
Escuela de Ingeniería de Eibar / Eibarko Ingeniaritza Eskola



# APLICACIONES EN AUTOMOCIÓN (2)



# APLICACIONES EN EL SECTOR NAVAL

SISTEMAS AVANZADOS DE  
MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA



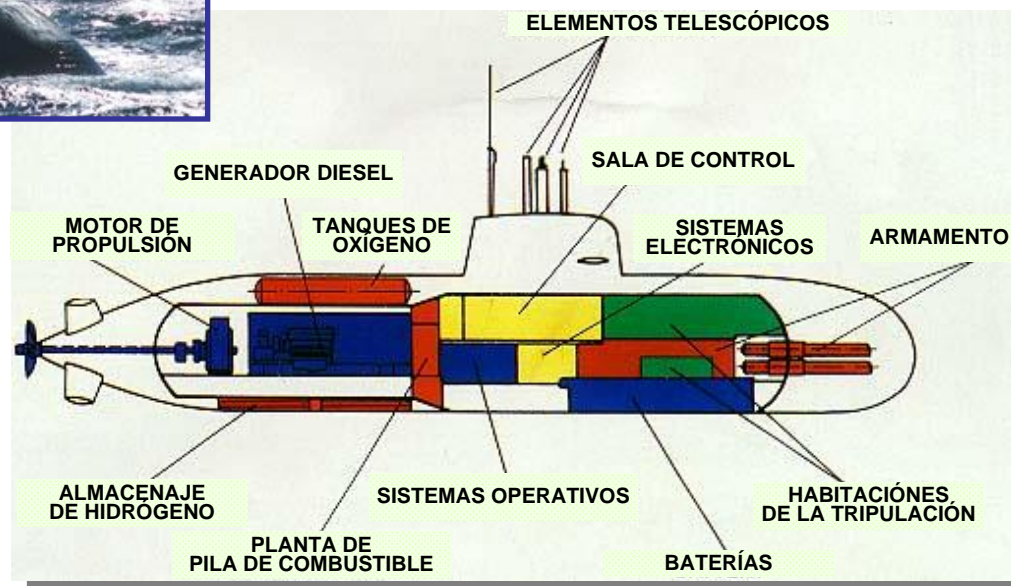
Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Instituto Universitario Tecnológico - Universidad del País Vasco  
EIBAR

I Jornadas sobre Desarrollo Sostenible  
Garapen Iraunkorri buruzko I Jardunaldiak  
Escuela de Ingeniería de Eibar / Eibarko Ingeniaritza Eskola



# APLICACIONES EN EL SECTOR AEROESPACIAL

SISTEMAS AVANZADOS DE  
MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea



Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial  
Instituto Tecnológico de Ingeniería y Tecnología  
EIBAR

I Jornadas sobre Desarrollo Sostenible  
Garapen Iraunkorrari buruzko I Jardunaldiak  
Escuela de Ingeniería de Eibar / Eibarko Ingeniaritza Eskola



# SISTEMAS AVANZADOS DE MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA

## ÍNDICE

MICRO-REDES ELÉCTRICAS

TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN  
Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

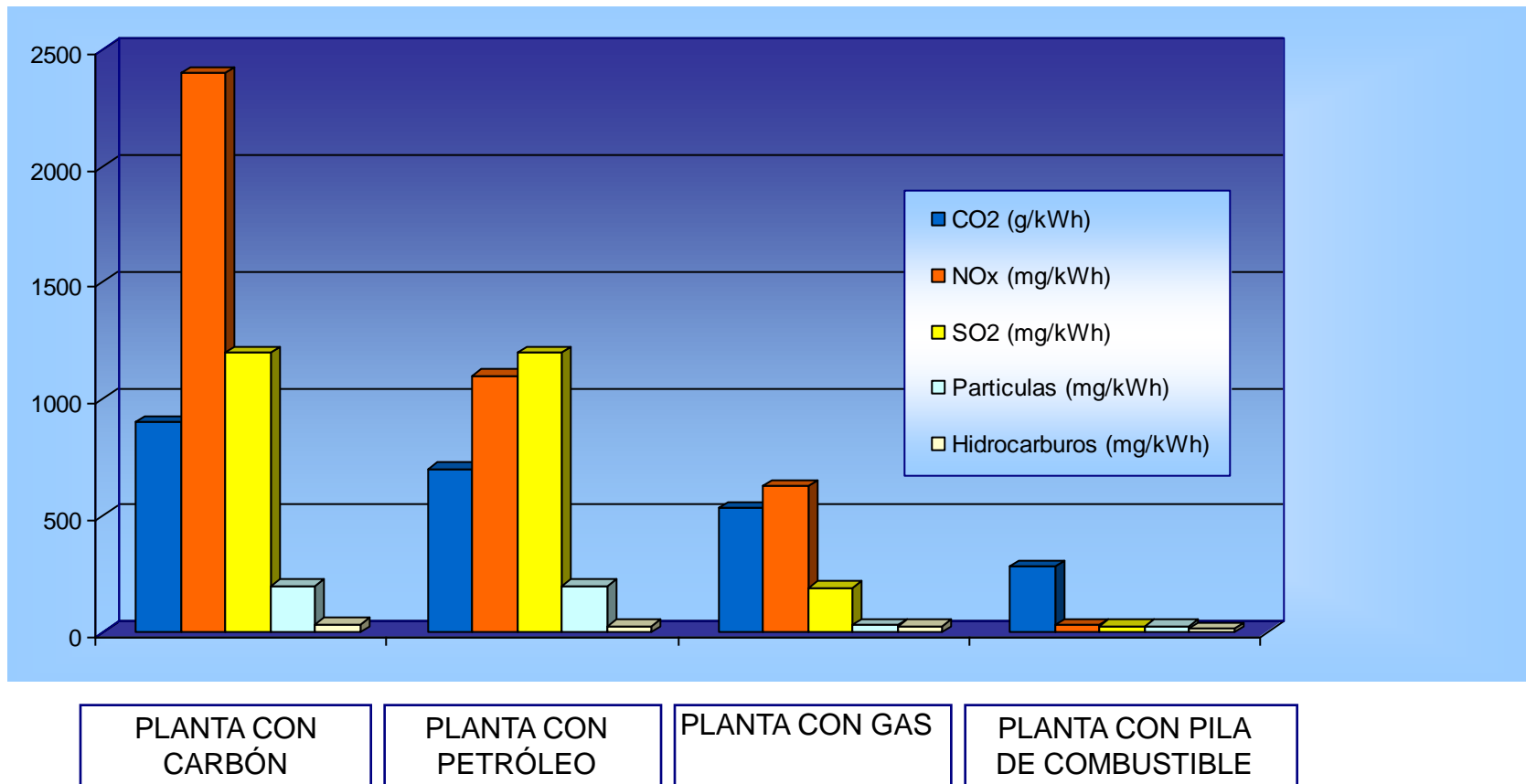
TECNOLOGÍAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

CONCLUSIONES

# CONCLUSIONES (1)

## EMISIONES DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS



# CONCLUSIONES (2)

## VENTAJAS, INCONVENIENTES Y APLICACIONES DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

### PEMFC

*Ventajas:* Baja temp. de operación, arranque rápido y alta densidad de potencia

*Desventajas:* Catalizadores caros

*Aplicaciones:* Transporte y portátiles

### DMFC

*Ventajas:* Combustible líquido

*Desventajas:* Materiales caros, duración limitada

*Aplicaciones:* Portátiles y microenergías

### PAFC

*Ventajas:* Baja temp. de operación, y alta eficiencia

*Desventajas:* Baja intensidad y densidad de potencia

*Aplicaciones:* Generación distribuida

### AFC

*Ventajas:* Baja temp. de operación, y alta eficiencia

*Desventajas:* Eliminación de impurezas costosa

*Aplicaciones:* Militares y aeroespaciales

### SOFC

*Ventajas:* Alta eficiencia, calor residual utilizable y catalizadores baratos

*Desventajas:* Lenta puesta en marcha y problemas de corrosión

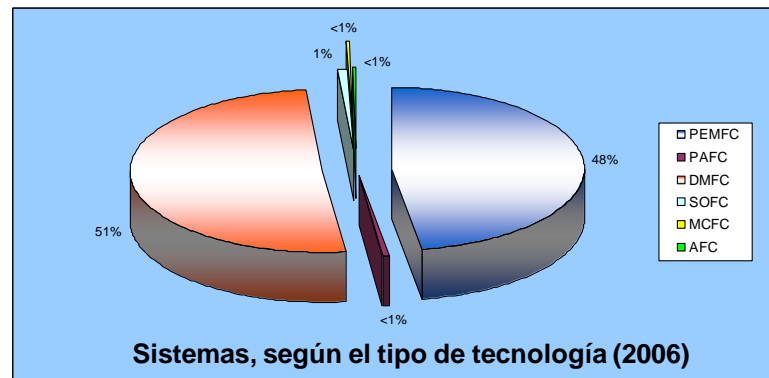
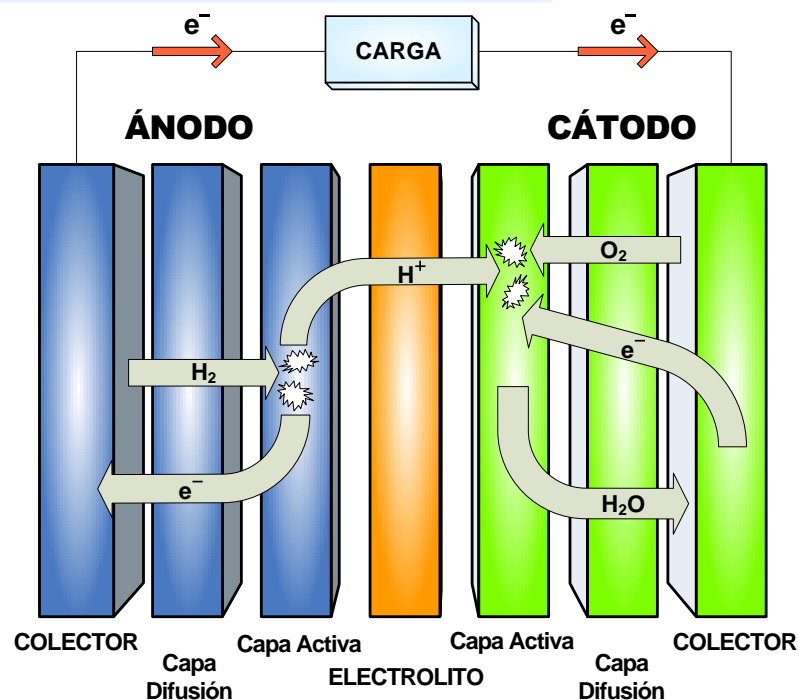
*Aplicaciones:* Generación distribuida y unidades auxiliares de energía

### MCFC

*Ventajas:* Alta eficiencia, calor residual utilizable

*Desventajas:* Lenta puesta en marcha y problemas de corrosión

*Aplicaciones:* Eléctricas



# CONCLUSIONES (3)

Las Pilas de Combustible son tecnologías de generación avanzadas que están adquiriendo un desarrollo notable en el campo de la Generación Distribuida. Entre sus ventajas destacamos:

- Alta eficiencia.
- Bajas emisiones.
- Flexibilidad de ubicación.
- Alta fiabilidad.
- Bajo mantenimiento.
- Amplia variedad de combustibles.

No obstante, esta tecnología encuentra las siguientes barreras para su comercialización a gran escala:

- Coste elevado.
- Tecnologías en desarrollo.
- Exploración de nuevos mercados.



# MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

**SISTEMAS AVANZADOS DE  
MICROGENERACIÓN DE ENERGÍA**



**I Jornadas sobre Desarrollo Sostenible  
Garapen Iraunkorrari buruzko I Jardunaldiak**  
Escuela de Ingeniería de Eibar / Eibarko Ingeniaritza Eskola

