

# da enerxía primaria á enerxía final: o futuro do hidróxeno

Bernardo Parajó

Santiago de Compostela, 14 de marzo de 2009

c o n t i d o s

# introducción

a ruta de enerxía

situación enerxética actual

o hidróxeno como alternativa



## CONSUMO ENERXÉTICO

- maior consumo de enerxía da que se necesita
- centrado en combustibles de orixe fósil
- esgotamento de reservas
- alta dependencia de países extractores
- dificultade de abastecemento
- contexto enerxético mundial sensible e inestable
- **contaminación medioambiental**

## OBXECTIVOS DA POLÍTICA ENERXÉTICA

- aforro e eficiencia enerxética
- asegurar abastecemento enerxético
- reducir dependencia enerxética
- implantación progresiva de fontes de enerxía renovables
- **redución de emisións contaminantes e causantes do efecto invernadoiro**

# i n t r o d u c i ó n

canto tempo poderán os combustibles fósiles cubrir a crecente demanda enerxética?

ata qué punto e durante canto tempo poderase capturar e almacenar CO<sub>2</sub>?

de onde virá a enerxía que necesitaremos as próximas décadas?

## c o n s i d e r e m o s

- a ruta da enerxía na actualidade
- o impacto das enerxías fósiles
- o impacto da enerxía nuclear
- o impacto das enerxías renovables
  
- o recorte de extracción de petróleo deixará un oco de produción enerxética
  - os demais combustibles fósiles e a enerxía nuclear non poderán cubri-lo
  - as enerxías renovables tampouco serán suficientes
  - os biocarburantes non poderán abastecer ao **transporte**

será entón o prezo dos produtos enerxéticos o mecanismo regulador?

# introducción



o hidróxeno preséntase como un **vector enerxético** fundamental no futuro das infraestruturas e da cultura enerxética, especialmente no transporte

é un proceso longo que precisa:

- evolución tecnolóxica
- desenvolvemento de infraestruturas
- cambio de hábitos

pero

## de onde virá o hidróxeno?

c o n t i d o s

introducción

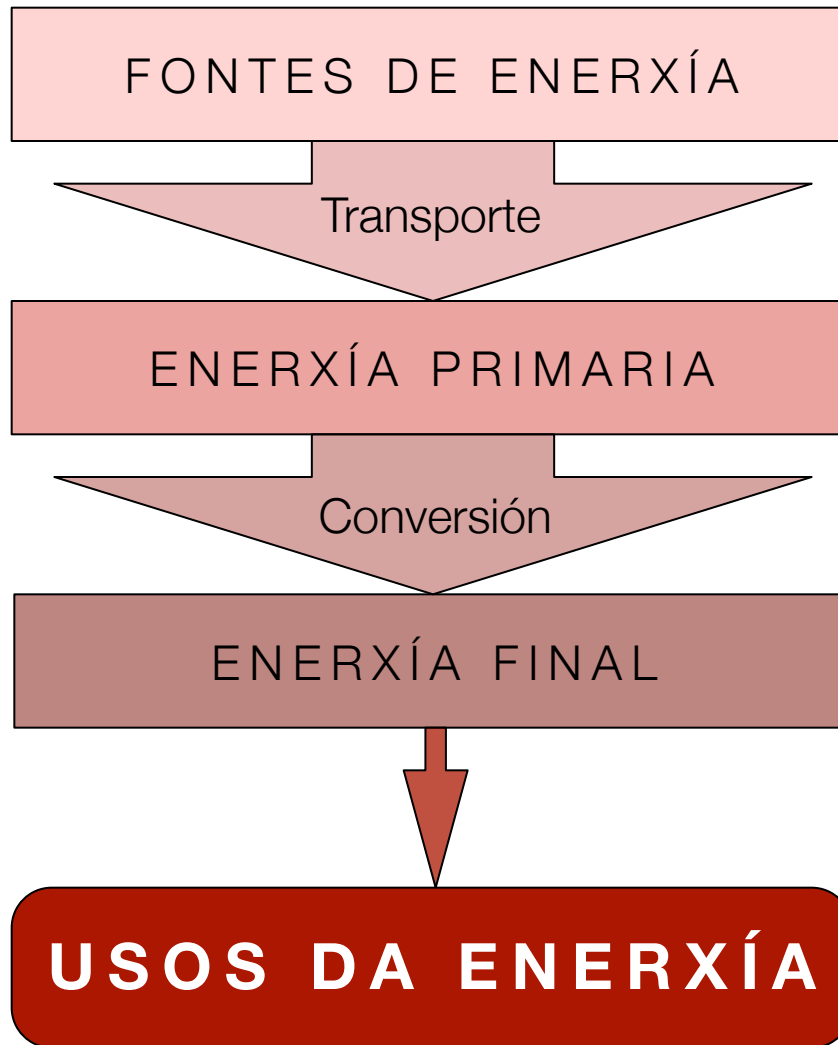
# a ruta de enerxía

situación enerxética actual

o hidróxeno como alternativa



# a r u t a d a e n e r x í a



# a r u t a d a e n e r x í a

## FONTES DE ENERXÍA

- xacementos de petróleo e de gas natural: determinan a xeopolítica actual
- xacementos de carbón: as conchas mineiras determinan a paixase e a cultura da zona
- xacementos de uranio: actividade destrutiva minera, pouca densidade de uranio
- bosques e cultivos: novos tipos de combustible pellets, madeira
- vento e mareas: aproveita as forzas atmosféricas.
- residuos urbanos
- captación directa de radiación solar: é a fonte de enerxía máis ubicua e a máis aleatoria
- captación de recursos xeotérmicos: é o aproveitamento do calor interno da Terra
- recursos hidráulicos: a partir dos saltos de auga dos rios





# a r u t a d a e n e r x í a

## TRANSPORTE DE ENERXÍA

salvo parte das enerxías renovables, o resto de fontes enerxéticas transpórtase

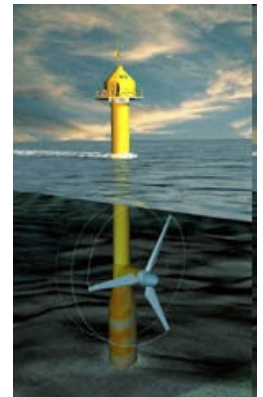
- 🚢 transporte marítimo; gas, petróleo, carbón
- 🚂 transporte terrestre: ferrocarril, estrada
- ☢️ transporte de combustible nuclear: esixe medidas de seguridade elevadas.
- 🚰 gasoductos, oleoductos



# a r u t a d a e n e r x í a

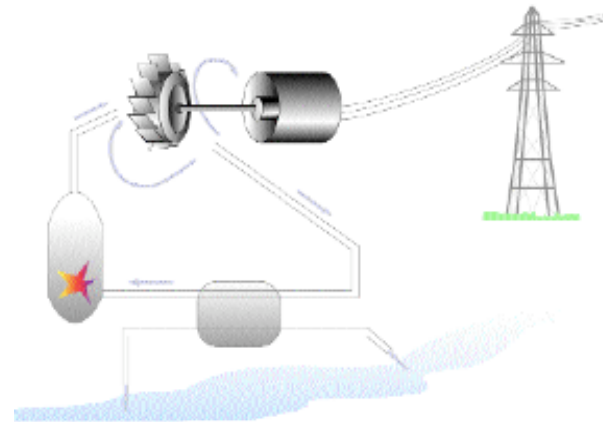
## ENERXÍA PRIMARIA

- petróleo: para produción térmica, eléctrica e combustibles, líquidos e gasosos
- gas natural: sistemas de alto rendemento térmico - eléctrico e ciclos combinados
- carbón: produción eléctrica - térmica
- nuclear: aproveitamento do U-235 en centrais altamente tecnificadas
- biomasa: produción eléctrica, térmica e novos combustibles líquidos
- hidráulica: para produción eléctrica
- eólica: para produción eléctrica polo vento
- solar térmica: produción térmica e termoeléctrica
- solar fotovoltaica: para produción eléctrica.
- xeotérmica: produción eléctrica - térmica
- mareomotriz: produción eléctrica



## CONVERSORES DE ENERXÍA

- centrais eléctricas: xeración eléctrica a partir de combustibles fósiles, biomasa, xeotérmica
- centrais nucleares: xeración eléctrica a partir da fisión do átomo
- refino: xeración de combustibles líquidos, gasosos, a partir da destilación e pirólise do petróleo
- aeroxeradores: xeración eléctrica a partir do vento, mediante un xerador eléctrico.
- Instalacións fotovoltaicas: xeración a partir da radiación solar
- centrais de coxeración: xeración térmica e eléctrica



# a r u t a d a e n e r x í a

## ENERXÍA FINAL

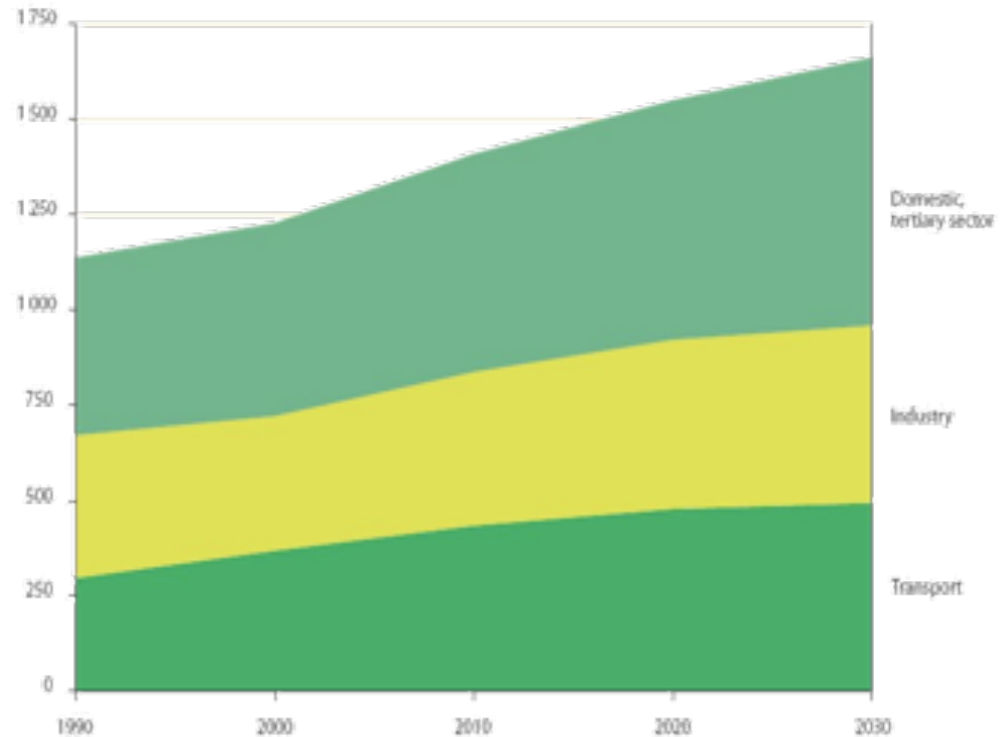
unha vez realizada a conversión da enerxía, obtéñense os seguintes produtos:

- combustibles derivados do petróleo
  - gasolina
  - gasóleo
  - fuel oil
  - butano
- gas natural canalizado.
- carbóns
- electricidade
- biomasa.
- calor utilizable
  - liñas de vapor
  - auga quente en “district heating”
  - sistemas industriais

## USOS DA ENERXÍA

- usos eléctricos domésticos
- usos térmicos domésticos
- usos eléctricos industriais
- usos térmicos industriais
- combustibles para o transporte

EU-30 (\*) — Final energy consumption [in million toe (\*)]



c o n t i d o s

introducción

a ruta de enerxía

situación enerxética actual

o hidróxeno como alternativa



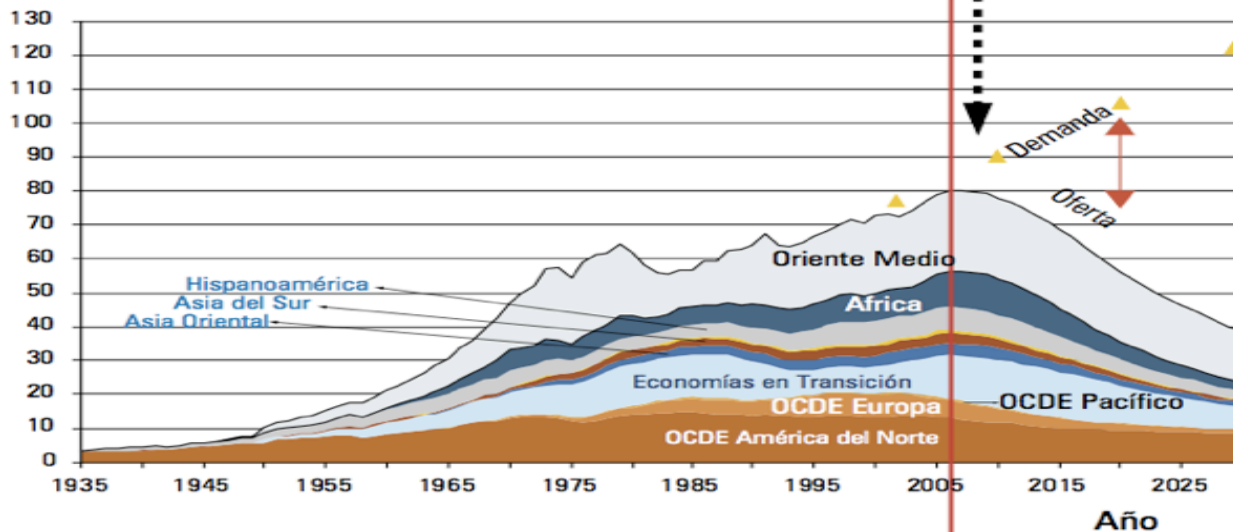
# s i t u a c i ó n e n e r x é t i c a a c t u a l

## PETROLEO

la producción de petróleo está alcanzando o tope máximo.

- desde 1980 se utiliza más petróleo de lo que se encuentra cada año
- las áreas bituminosas vinculadas al petróleo pesado no son substitutivas de las reservas de petróleo actuales por:
  - concentraciones pequeñas
  - separación y purificación complejas
  - emisión de gases de efecto invernadero elevadas

### Millones de barriles



▲ Tendencia AIE WEO 2004

Escenario completamente irrealista para cubrir este déficit a tiempo con recursos petrolíferos de fácil producción

Fuentes: Datos - IHS Energy, BP 2005

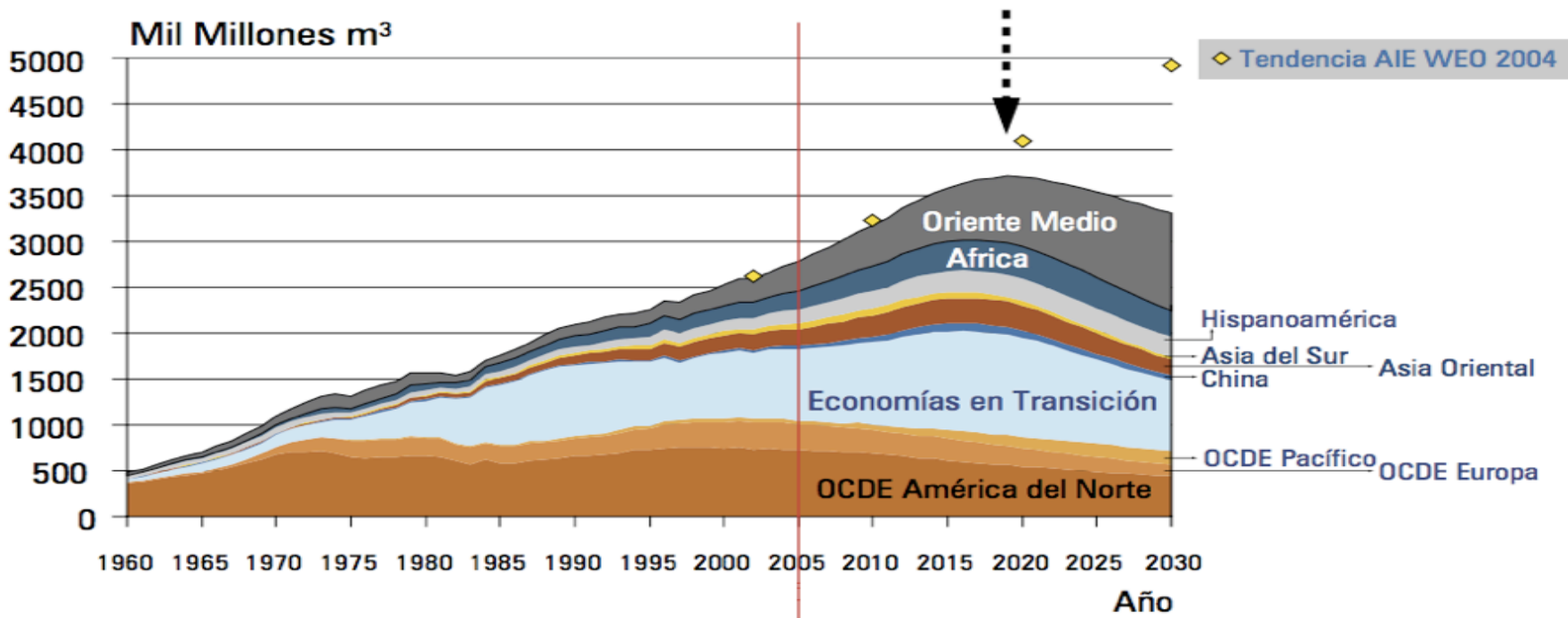
Pronóstico - LBST 2005 (basado en el escenario de la ASPO - Asociación para el Estudio del Pico de Petróleo)

# situación energética actual

## GAS NATURAL

o panorama do gas natural asume que a produción pode subir substancialmente ata o 2020.

- esta é a vision optimista, a futura produción de gas poderá verse eclipsadas por:
  - riscos nas instalacións de transporte (situadas en zonas conflictivas)
  - son infraestruturas caras e complexas



Fuentes: Datos - IHS Energy, BP 2005

Pronóstico - LBST 2005 (basado en el escenario de la ASPO)

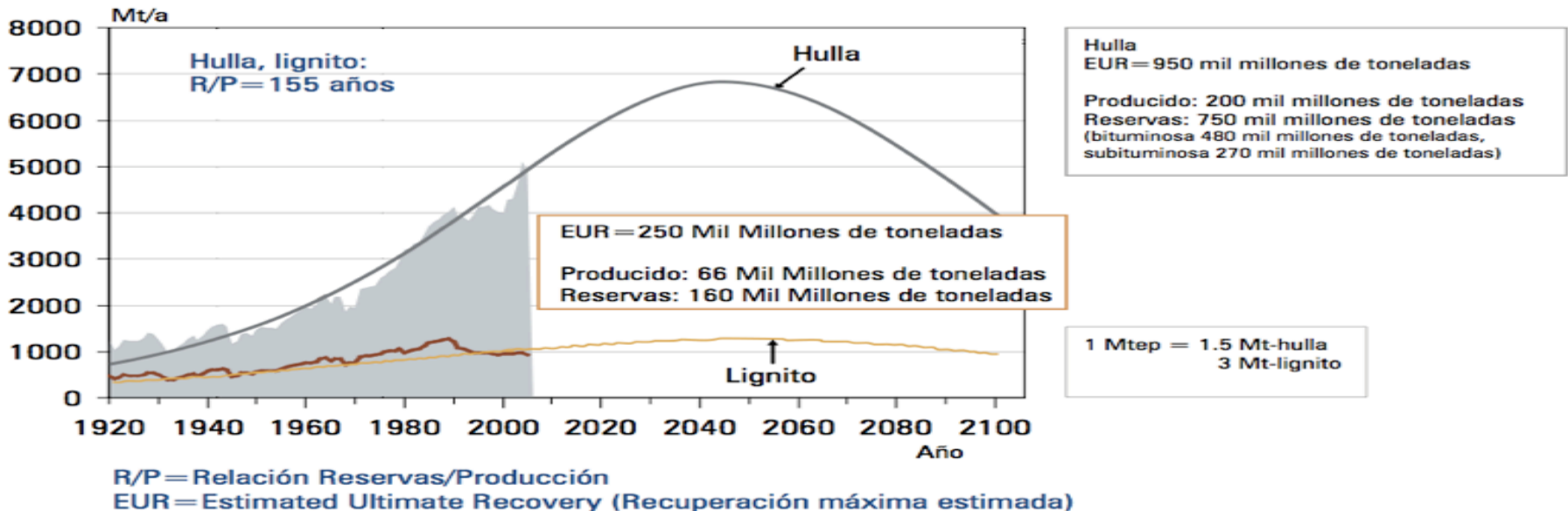


# situación enerxética actual

## CARBÓN

o carbón ten un expectativa de crecemento do 60% ata o 2050.

- a baixada produción de gas natural e petróleo compensaríase cun aumento do carbón como enerxía primaria
- a transformación en enerxía final é complexa, sobre todo en combustible para o transporte
- as emisións de CO<sub>2</sub>/kWh do lignito ou do hulla son maiores que o petróleo
- precísanse sistemas de captación e almacenamento de CO<sub>2</sub>

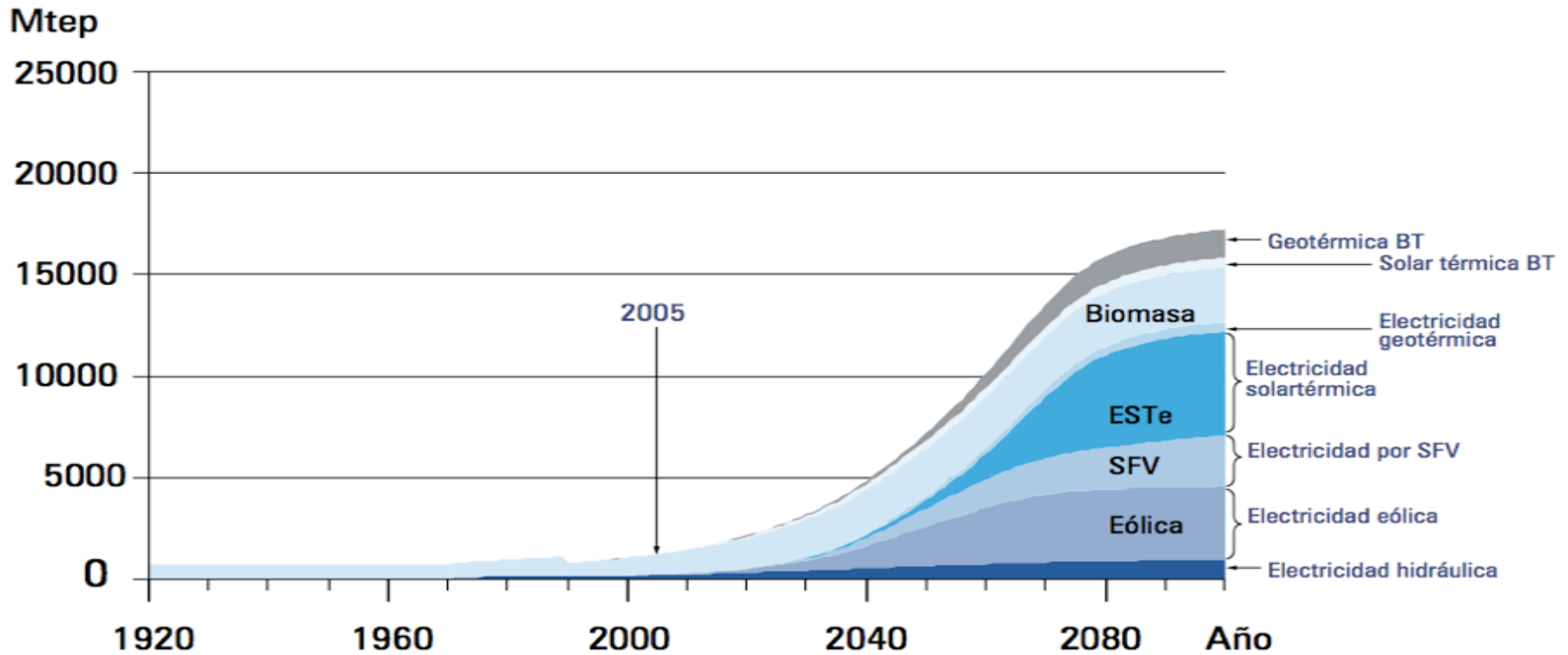




# s i t u a c i ó n e n e r x é t i c a a c t u a l

## ENERXÍAS RENOVABLES

- as enerxías renovables teñen potencial para cubrir as demandas de electricidade.
- a enerxía solar fotovoltaica e a termosolar teñen o maior potencial de crecemento.
- a biomasa e os biocombustibles teñen un futuro incerto, debido a competencia do uso do territorio
- A eólica ten un potencial de crecemento elevado, pola mellora dos equipos
- A enerxía xeotérmica e hidráulica mostran un crecemento máis pequeno



# s i t u a c i ó n e n e r x é t i c a a c t u a l

## ESCENARIO MUNDIAL: PRODUCCIÓN

a maioría das estimacións de escenarios enerxéticos mundiais para o futuro consideran:

- 🔊 incremento da demanda.
- 🔊 enerxías fósiles suficientes
- 🔊 crecemento das enerxías renovables baixos, debido ao custe

Estes supostos ignoran aspectos fundamentais:

- 🔊 o cambio climático acelérase
- 🔊 combustibles fósiles son limitados
- 🔊 a enerxía nuclear non é resposta.

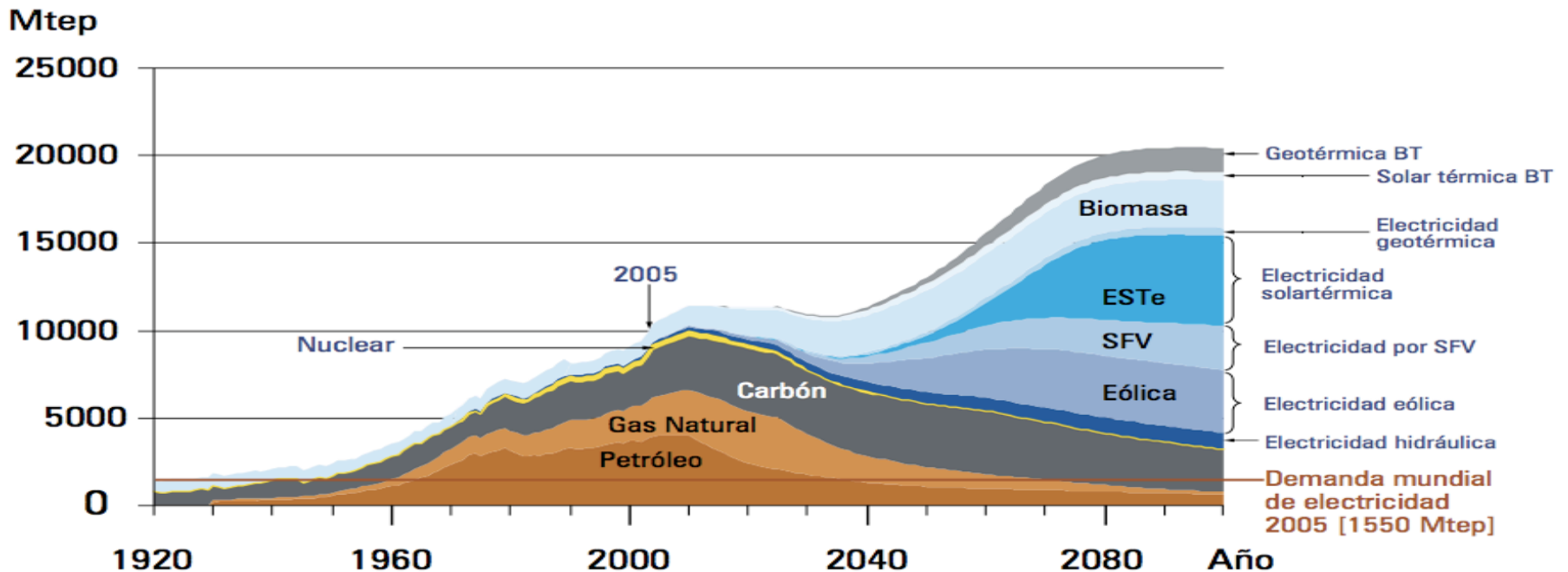
as enerxías renovables teñen a chave do futuro e teñen potencial suficiente para cubrir a demanda de electricidade

# s i t u a c i ó n e n e r x é t i c a a c t u a l

## ESCENARIO MUNDIAL: PRODUCCIÓN (e II)

- o petróleo e o gas natural descenderán máis rápido que a capacidade enerxética renovable que poida construírse.
- é posible que a produción mundial descenda inicialmente durante as próximas décadas, ata que as tecnoloxías renovables sexan capaces de manter o ritmo de crecemento da demanda

A busca de estruturas sostenibles para a produción de enerxía non pode pospoñerse.



c o n t i d o s

introducción

a ruta de enerxía

situación enerxética actual

o hidróxeno como alternativa



## O HIDRÓXENO COMO COMBUSTIBLE

- como se producirá o hidróxeno?

- cal e a mellor tecnoloxía para facelo?

- actualmente, a ruta da enerxía presenta:

- na xeración de combustibles, altos factores de conversión a partir de enerxía primaria

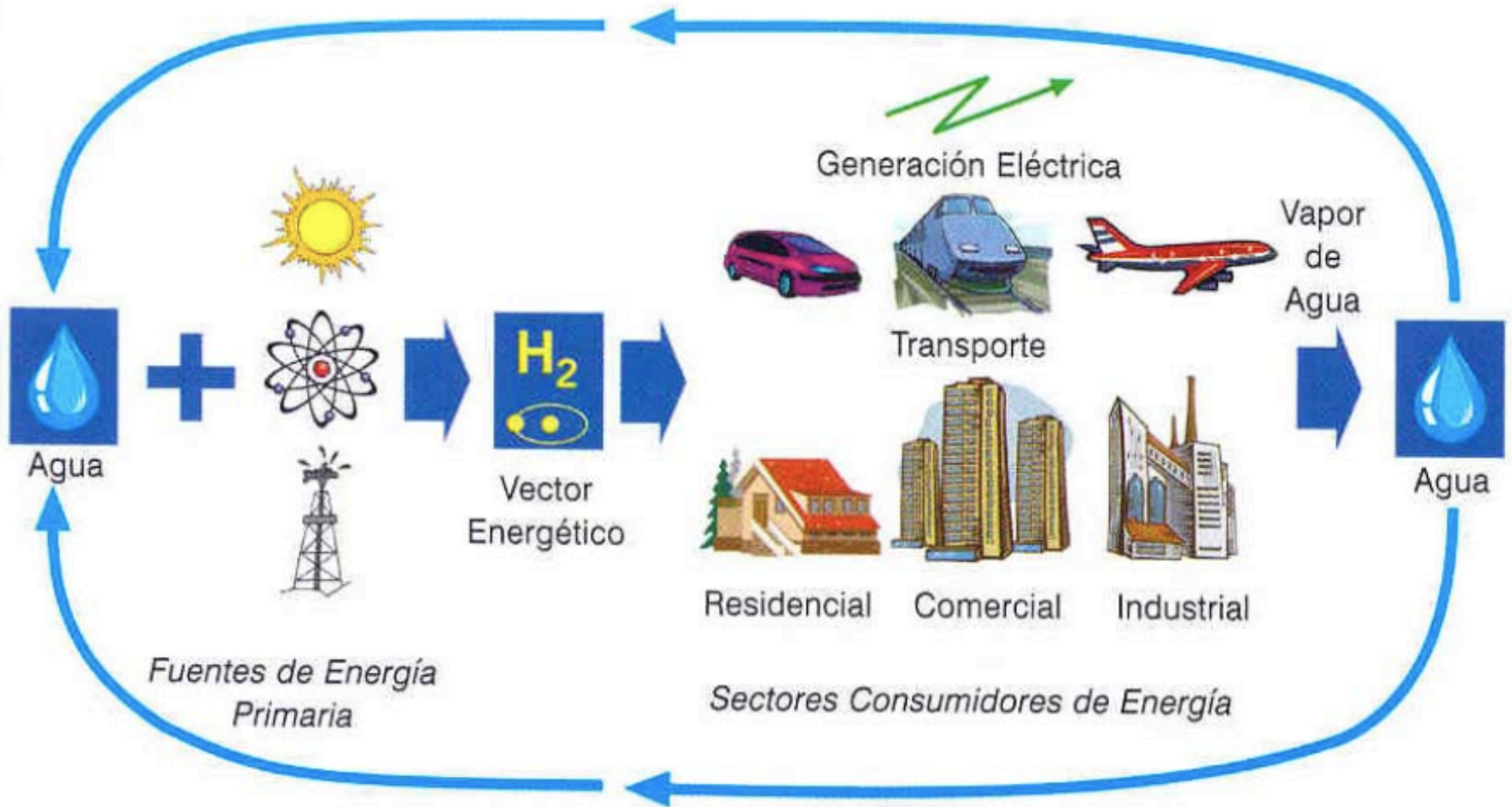
- na xeración de electricidade, os factores de conversión son do 50 - 70 % de perdas

- o futuro será:

- os sistemas de enerxías renovables proporcionarán un factor de conversión moi alto para a xeración de electricidade

- os combustibles, ao pasar a biocombustibles e hidróxeno, terán un factor de conversión moito menor do actual.

# o hidrógeno como alternativa



Fuente: Fund. Nuevas Tecnologías del Hidrógeno de Aragón



# o hidróxeno como alternativa

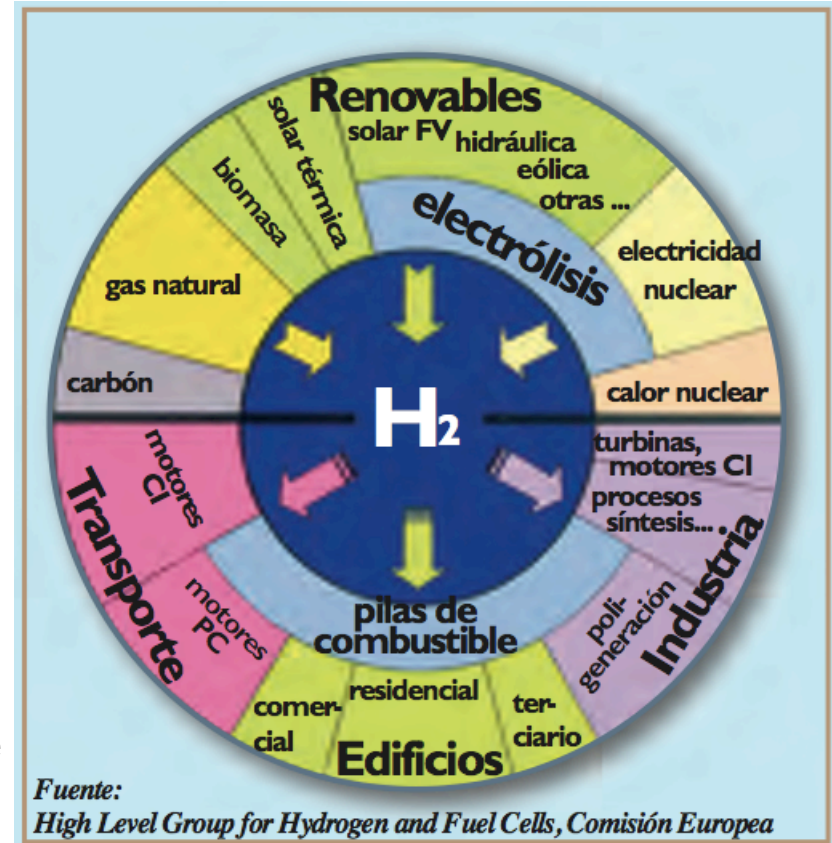
## HIDRÓXENO:

- incoloro, inodoro e non tóxico
- o átomo de hidróxeno esta formado por un protón e un electrón
- fonte da enerxía que recibimos do Sol
- é un dos elementos máis abundante

## ONDE SE OBTÉN:

Ademáis do auga:

- doutros compoñentes, como os ácidos o alcol
- existe hidróxeno na biomasa, biogás, petróleo, gas natural, ..., como compoñente orgánico



# o hidróxeno como alternativa

## COMO SE OBTÉN

### 🔌 electrólise

- 🔌 a electrólise é limpa e produce hidróxeno de gran pureza
- 🔌 é o 5% da produción actual de hidróxeno
- 🔌 inconvenientes:
  - 🔌 a electrólise consume moita enerxía eléctrica
  - 🔌 para ser hidróxeno limpo te que proceder de enerxías renovables

### 🔌 reformado

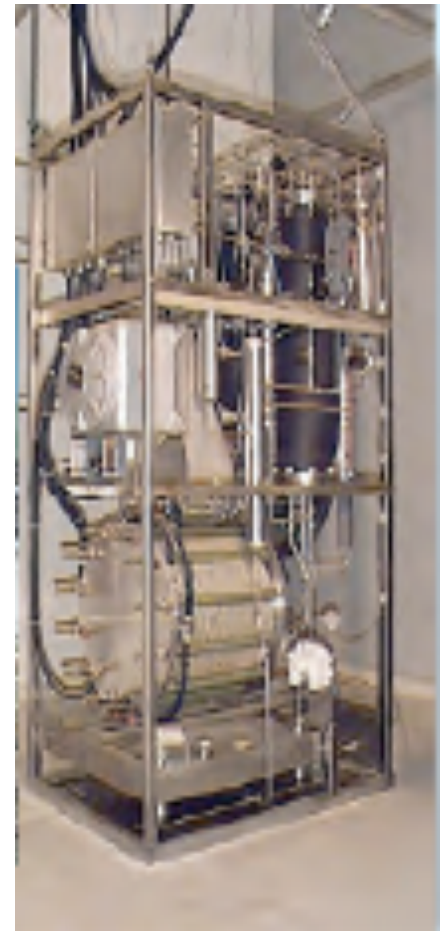
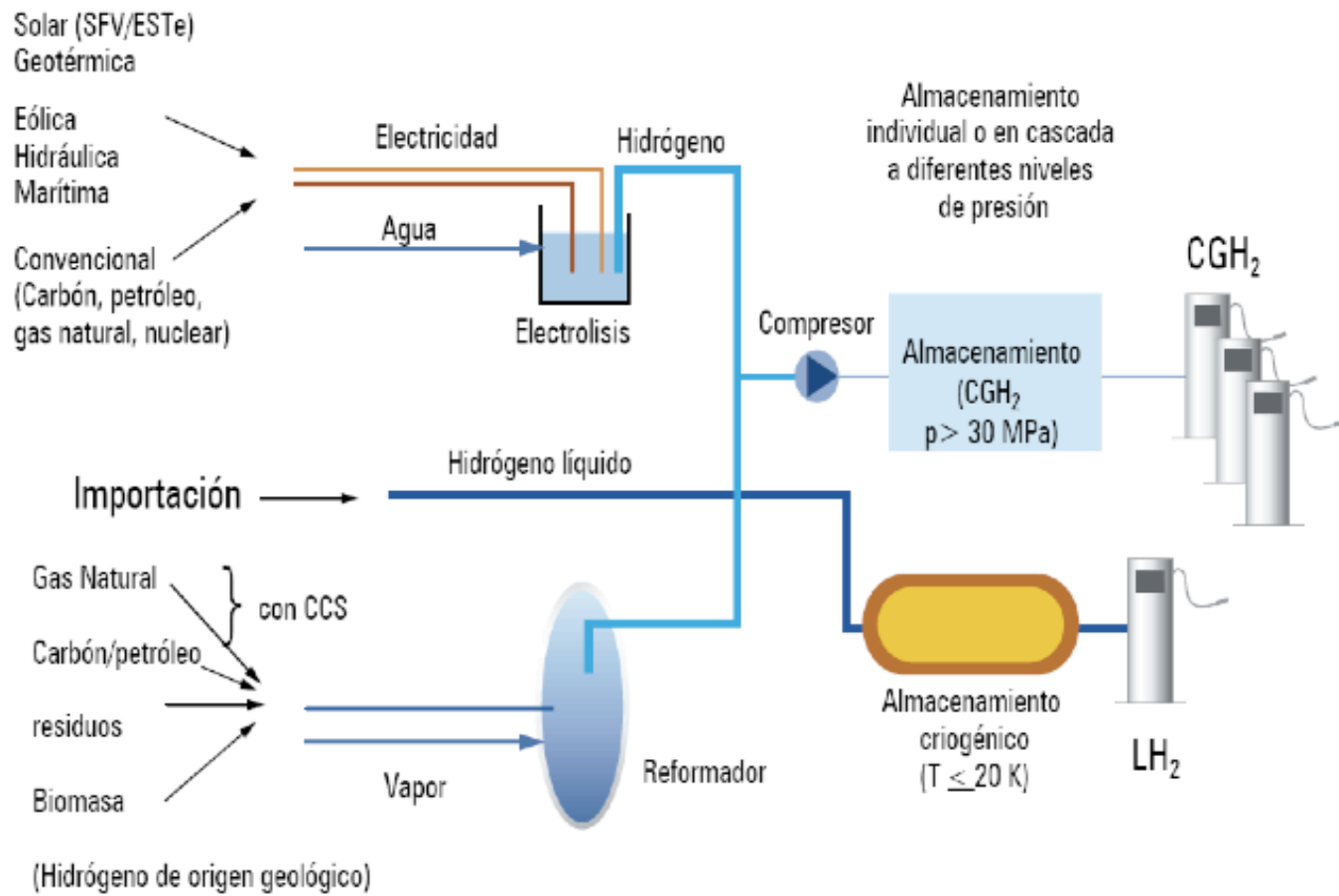
- 🔌 A opción máis barata a día de hoxe é mediante o reformado de gas natural
- 🔌 Esta é a opción menos contaminante a partir de combustibles fósiles

### 🔌 gasificación

- 🔌 converter o carbón en gas, quentando a 900°C, produce hidróxeno
- 🔌 actualmente representa un 18% da produción total.

o hidróxeno formado a partir de gasificación e de reformado, será sempre pouco limpo e nada renovable

# o hidrógeno como alternativa



# o hidróxeno como alternativa

## COMO SE OBTERÁ NO FUTURO

**a solución:** o gas hidróxeno e a electricidade de orixe renovable

🔌 fotoelectrolisis:

- 🔌 consiste en mergullar unha célula fotovoltaica de material semiconductor en auga, que fai de electrolizado
- 🔌 combinado cunha electrólise tradicional, redúcense custes e conséguense altas eficiencias enerxéticas

🔌 gasificación biomasa:

- 🔌 máis caro que o reformado (rentable onde a biomasa sexa abundante e barata)

🔌 enerxía térmica alta temperatura:

- 🔌 deseño de novos reactores para facer electrólise de alta temperatura
- 🔌 para separar o hidróxeno do osíxeno, fan falta uns 2000 °C (difícil de conseguir e de controlar)
- 🔌 insertando cadeas de reaccións intermedias, a temperatura necesaria é do orden de 850 °C; abre a porta de obter hidróxeno a partires da enerxía solar

# o hidróxeno como alternativa

## ALMACENAMIENTO DE ENERXÍA: DIFÍCIL

### gas a presión:

- compresión do gas

- o mais sinxelo de 200-350 bares (4 kg ocupan 250 litros)

- con novos materiais (composites), chégase ata 700 bares

### liquido:

- o hidróxeno ocupa en estado liquido 700 veces menos

- necesitase unha temperatura de  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$

- consúmese entre 30 - 40 % da enerxía xerada para ter esa temperatura

### hidruros metálicos:

- combinacións de hidroxeno con certos metais, que se obtén enfriando a mezcla metálica e introducindo hidróxeno a presión.

- vantaxe: a reacción é reversible (quentando o hidruro, o hidróxeno libérase).

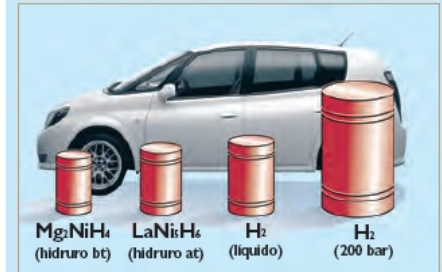
- inconveniente: os hidruros a baixa temperatura (liberan  $\text{H}_2$  a  $40 - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) son pesados e lentos

### nanotubos de carbono:

- é unha tecnoloxía aínda por probar; almacena hidróxeno a temperatura ambiente

### El volumen de 4 kg de $\text{H}_2$

Según el método de compactación y en relación con el tamaño de un coche



## Equivalencias caudal de hidrógeno - producción eléctrica\*

H <sub>2</sub> (kg/h)	H <sub>2</sub> gas (Nm <sub>3</sub> /h)	H <sub>2</sub> líquido (l/h)	Energía (kWh)
1	11,12	14,12	33,33
0,0899	1	1,270	3,00
0,0708	0,788	1	2,359
0,0300	0,333	0,424	1

*\*Basadas en poder calorífico inferior*

*Fuente: ARIEMA*

## Comparativa hidrógeno - otros combustibles

HIDRÓGENO	GASOLINA	GASÓLEO	GAS NATURAL*	METANO	METANOL
1 kg	2,78 kg	2,80 kg	2,54 -3,14 kg	2,40 kg	6,09 kg
1 litro (líquido)	0,268 litros	0,236 litros	-----	-----	0,431 litros
1 litro (gas) **	0,0965 litros	0,0850 litros	0,3-0,35 litros	0,240 litros	0,191 litros

*\*dependiendo de la composición del GN \*\* todos los gases comprimidos a 350 bares*

*Fuente: ARIEMA*

# o hidróxeno como alternativa

## PILAS DE COMBUSTIBLE

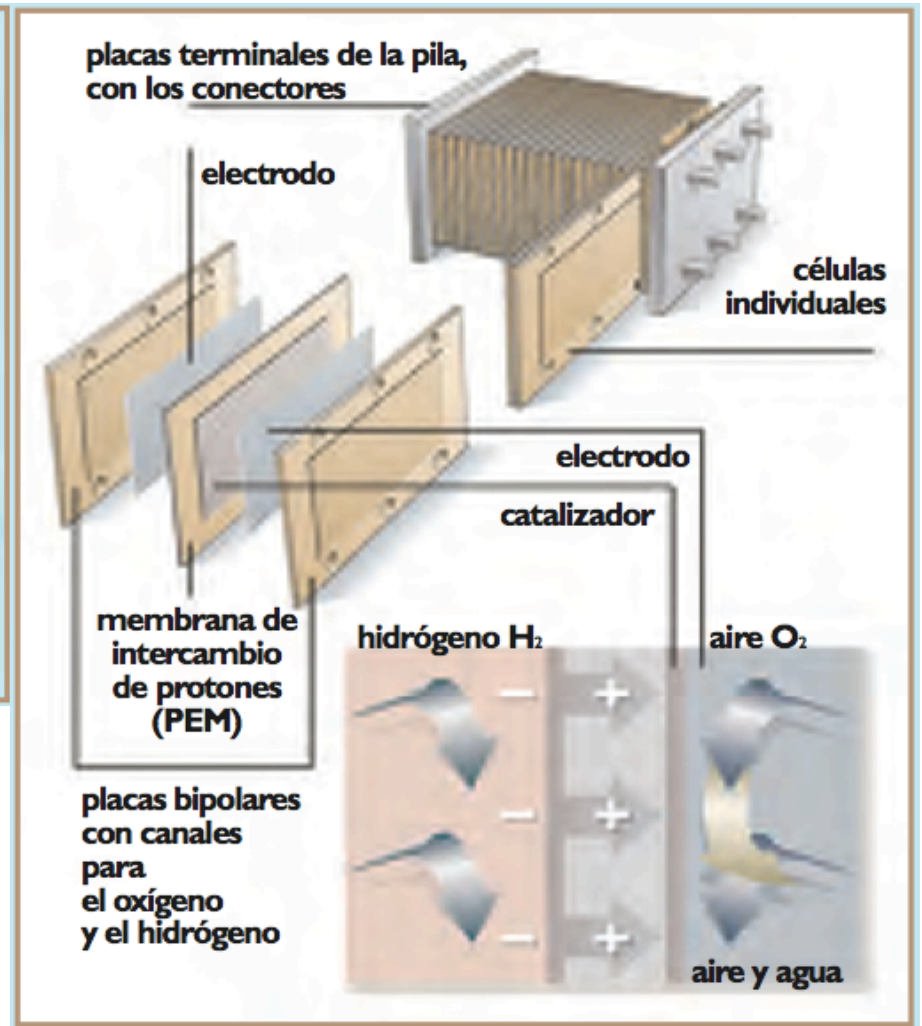
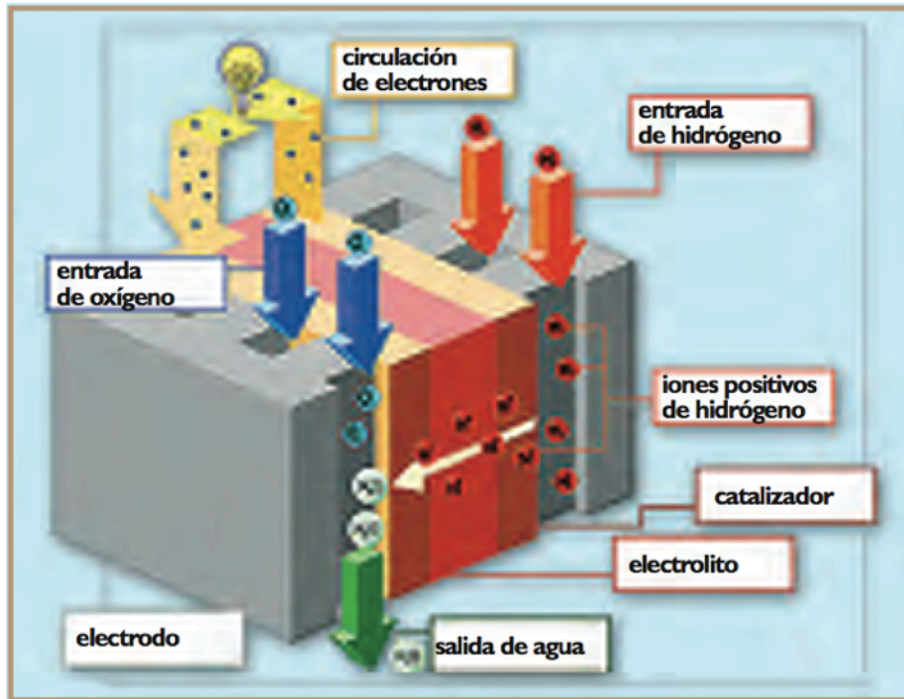
unha pila de combustible é unha especie de batería de alta tecnoloxía:

- converte a enerxía química dun combustible que recibe do exterior en enerxía eléctrica
- o combustible entra constantemente na pila, polo que a pila fornece enerxía eléctrica de forma continuada
- un reactivo é osíxeno (cátodo) mentres que outro é hidróxeno (ánodo)

o funcionamento:

- a pila é un conxunto de celdas de combustible.
- cada celda consta de dous electrodos (ánodo - cátodo), separados por un electrólito sólido ou líquido
- no ánodo prodúcese a reacción do hidróxeno, dissociado en 2 electróns e 2 protóns
- os protóns circulan pola membrana dende o ánodo ata o cátodo, os electróns van polo circuíto eléctrico conectado á pila
- despois do circuíto eléctrico, os electróns volven ao cátodo, que xunto cos protóns e o osíxeno forma auga como residuo

# o hidrógeno como alternativa





# o hidróxeno como alternativa

## TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

A clasificación xeral faise en función do tipo de electrólito que utiliza:

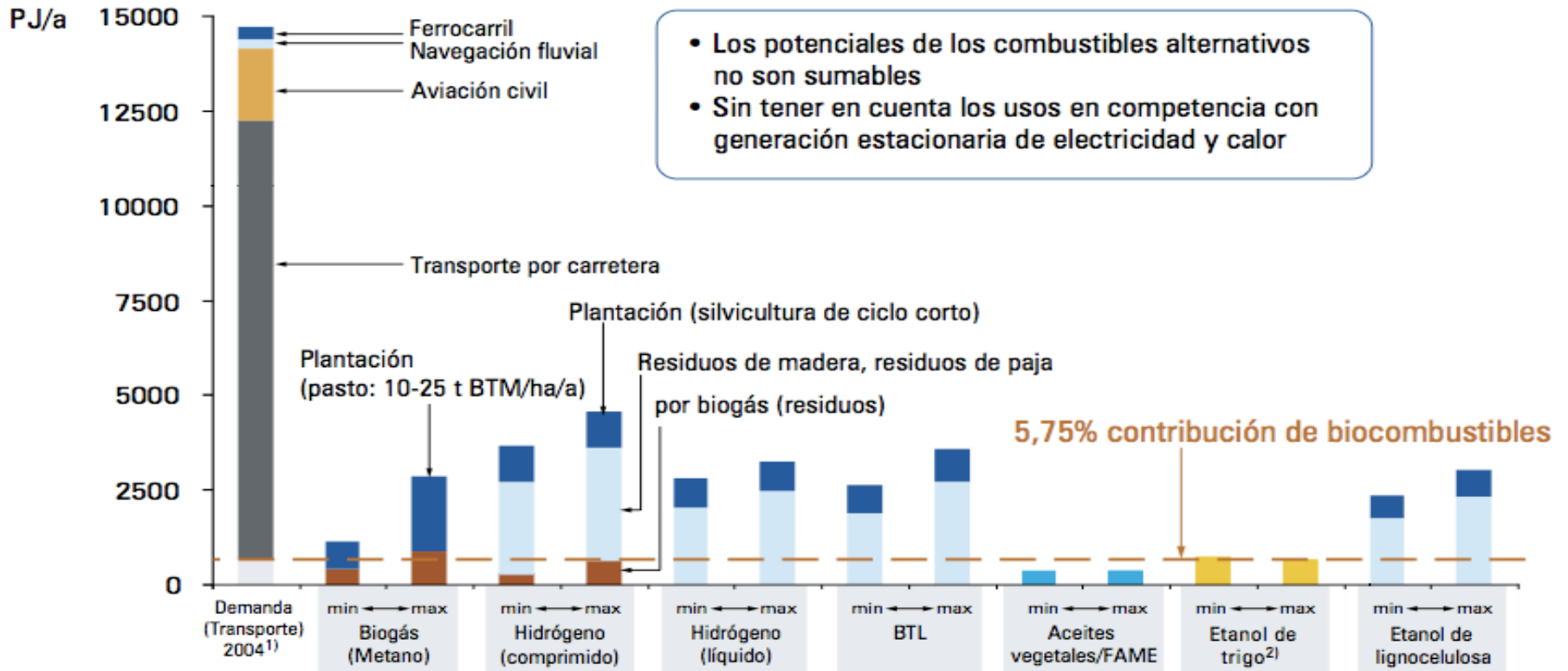
- AFC, con potencia 5 - 150 kW traballan a baixas temperaturas; bo rendemento
- PEM, teñen maior flexibilidade e versatilidade, dende 1 W ata 200 kW
- PAFC, son as pilas de combustible industriais; poden chegar ata os 10 MW
- MCFC e SOFC, teñen un futuro prometedor como xeradores de enerxía eléctrica e térmica

TIPO	TEMPERATURA DE OPERACION	ELECTROLITO	COMBUSTIBLE	RENDIMIENTO	APLICACIONES
Alcalina (AFC)	<120 °C	KOH (35 %)	H <sub>2</sub>	60 %	Espacial, Militar. Generación portátil. Automoción.
Polímero (PEMFC)	<100 °C	SPE	Hidrocarburo Ligero reformado (H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> )	60 %	Espacial, Militar. Generación portátil. Automoción.
Acido Fosfórico (PAFC)	200 °C	Acido Ortofosfórico	Hidrocarburo Ligero Reformado (H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub> )	50, 80 %	Produc. Electricidad: • Distribuida. • Cogeneración.
Carbonatos Fundidos (MCFC)	650 °C	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Hidrocarburo Reformado Desulfurado	60, 90 %	Produc. Electricidad: • Base. • Distribuida.
Oxidos Sólidos (SOFC)	1.000 °C	Zr estabilizado	Hidrocarburo Reformado Desulfurado	60, 90 %	Produc. Electricidad: • Base.

# o hidrógeno como alternativa

## POTENCIAL DOS BIOCARBURANTES

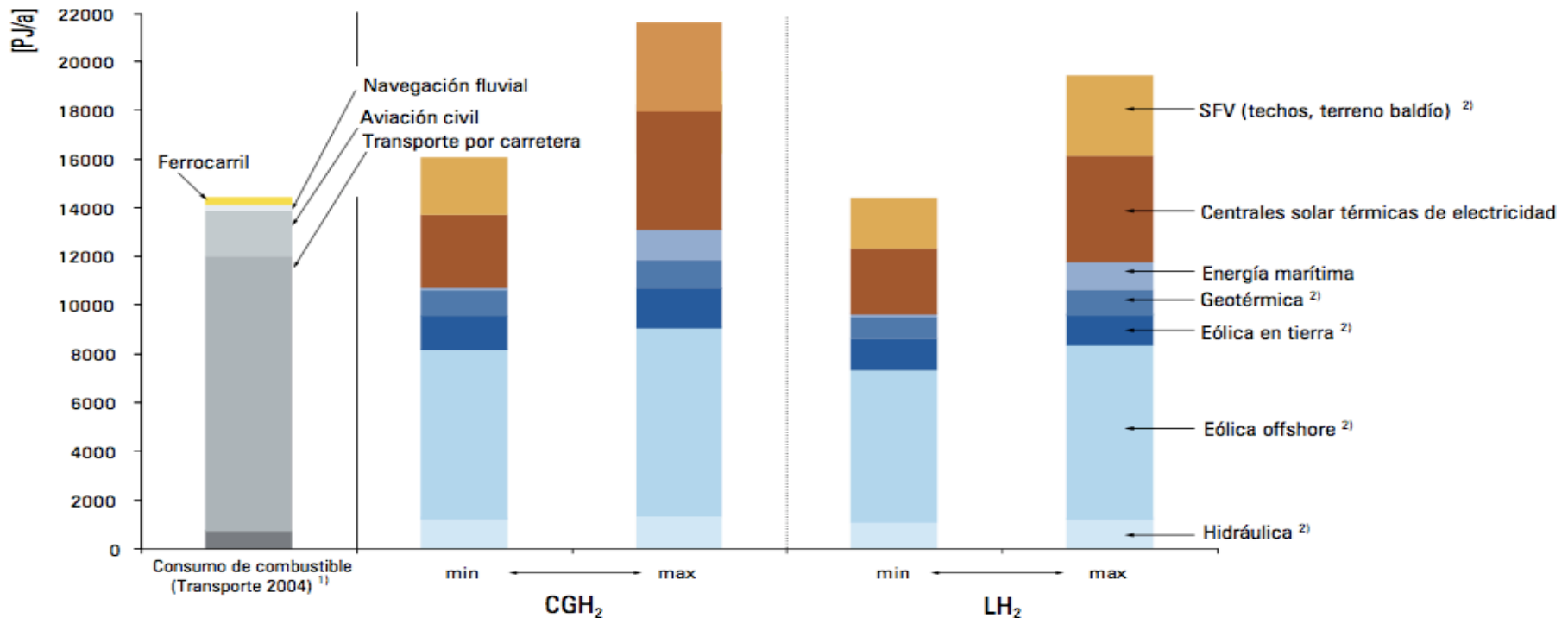
- o potencial da biomasa na UE-27 permite unha cobertura da demanda de combustible para tráfico rodado en torno ao 5% de biodiésel, 25% (bioetanol) e 30% de CGH<sub>2</sub>
- os biocarburos non poden de substituír grandes cantidades de combustibles fósiles a longo prazo



# o hidróxeno como alternativa

## POTENCIAL DO HIDRÓXENO

- o hidróxeno é a mellor opción para manter a mobilidade do transporte individual
- o hidróxeno a alta presión (CGH<sub>2</sub>) ou hidroxeno líquido (LH<sub>2</sub>) podería ser suficiente para a demanda actual do combustible na UE 27
- si soamente se teñen en conta as enerxías renovables, o hidróxeno dominará a tecnoloxía futura
- o hidroxeno é un almacén de enerxía, e poderá ser utilizable en calquera uso.

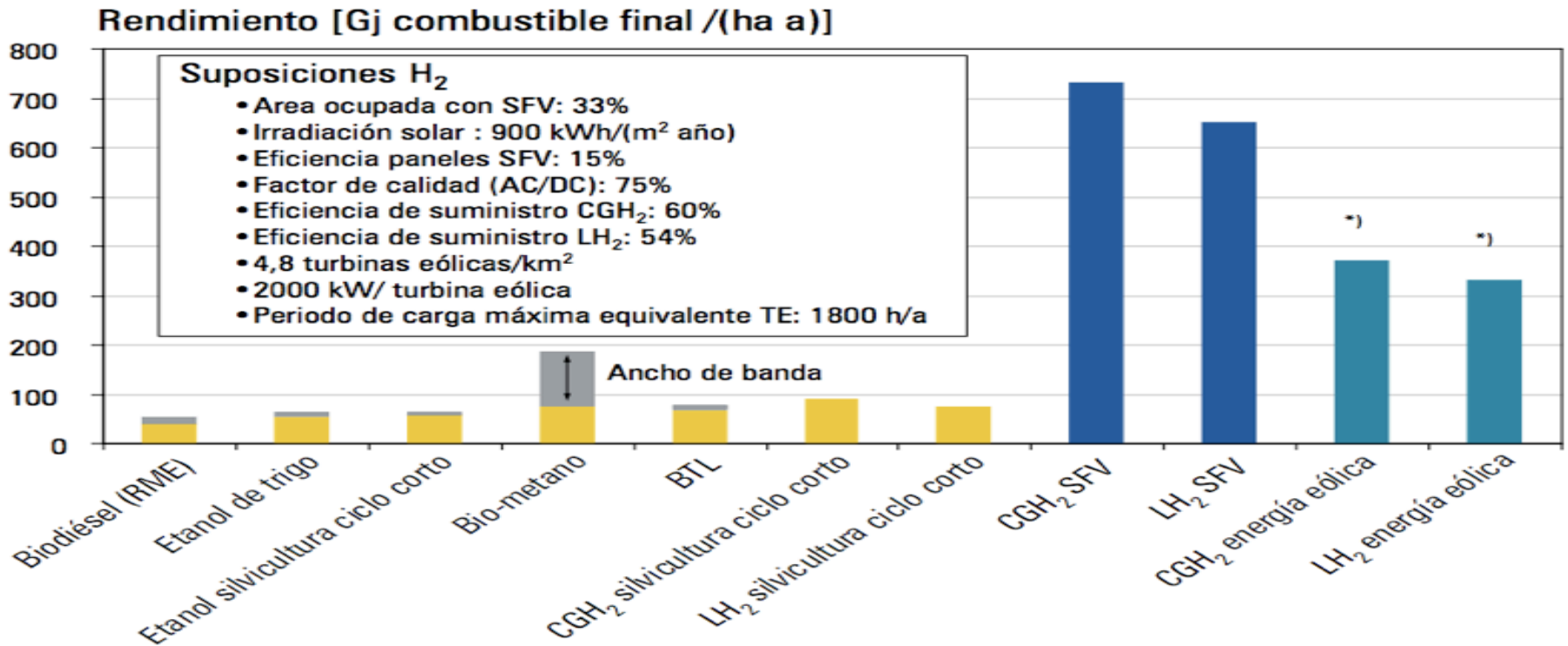


# o hidróxeno como alternativa

## RENDEMENTOS ENERXÉTICOS ESPECÍFICOS

na produción de hidróxeno:

- a xeración de H<sub>2</sub> a partir da enerxía eólica, comportase tan ben como o biogás (o mellor dos biocombustibles).
- a xeración de H<sub>2</sub> a partir de fotovoltaica presenta a mellor relación por Ha
- a enerxía eólica, e en parte a fotovoltaica, permiten producir biomasa na parte libre do terreno

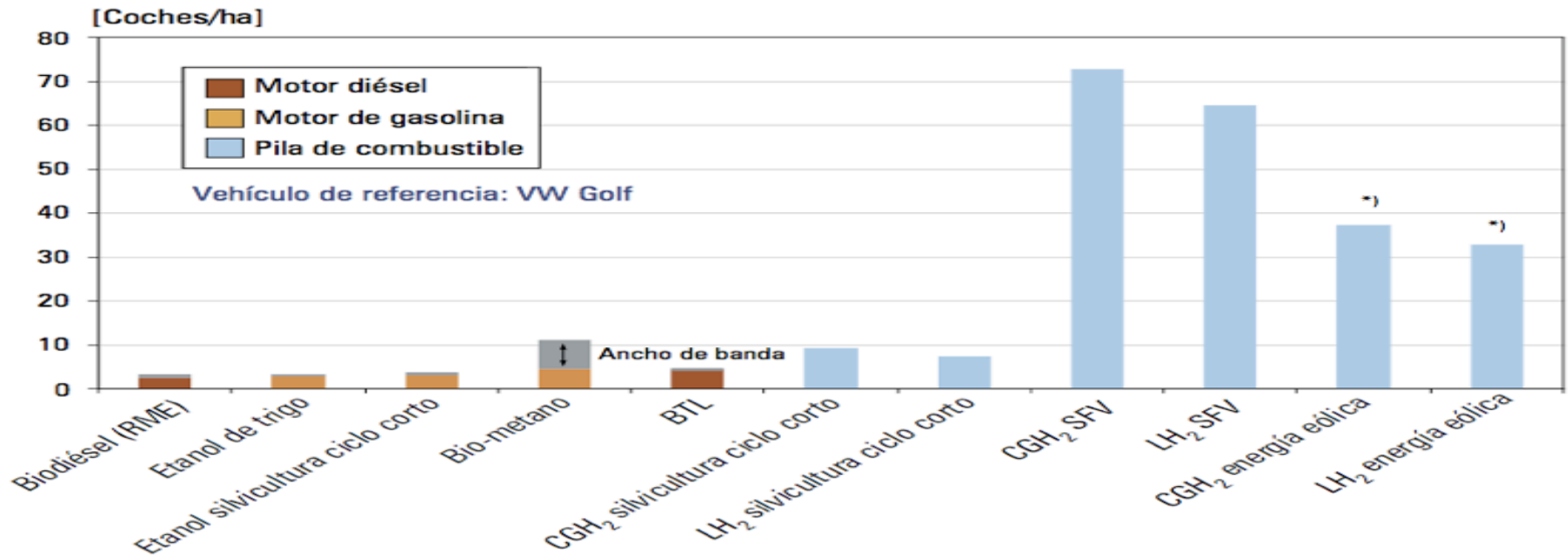


# o hidróxeno como alternativa

## VEHÍCULOS POR Ha

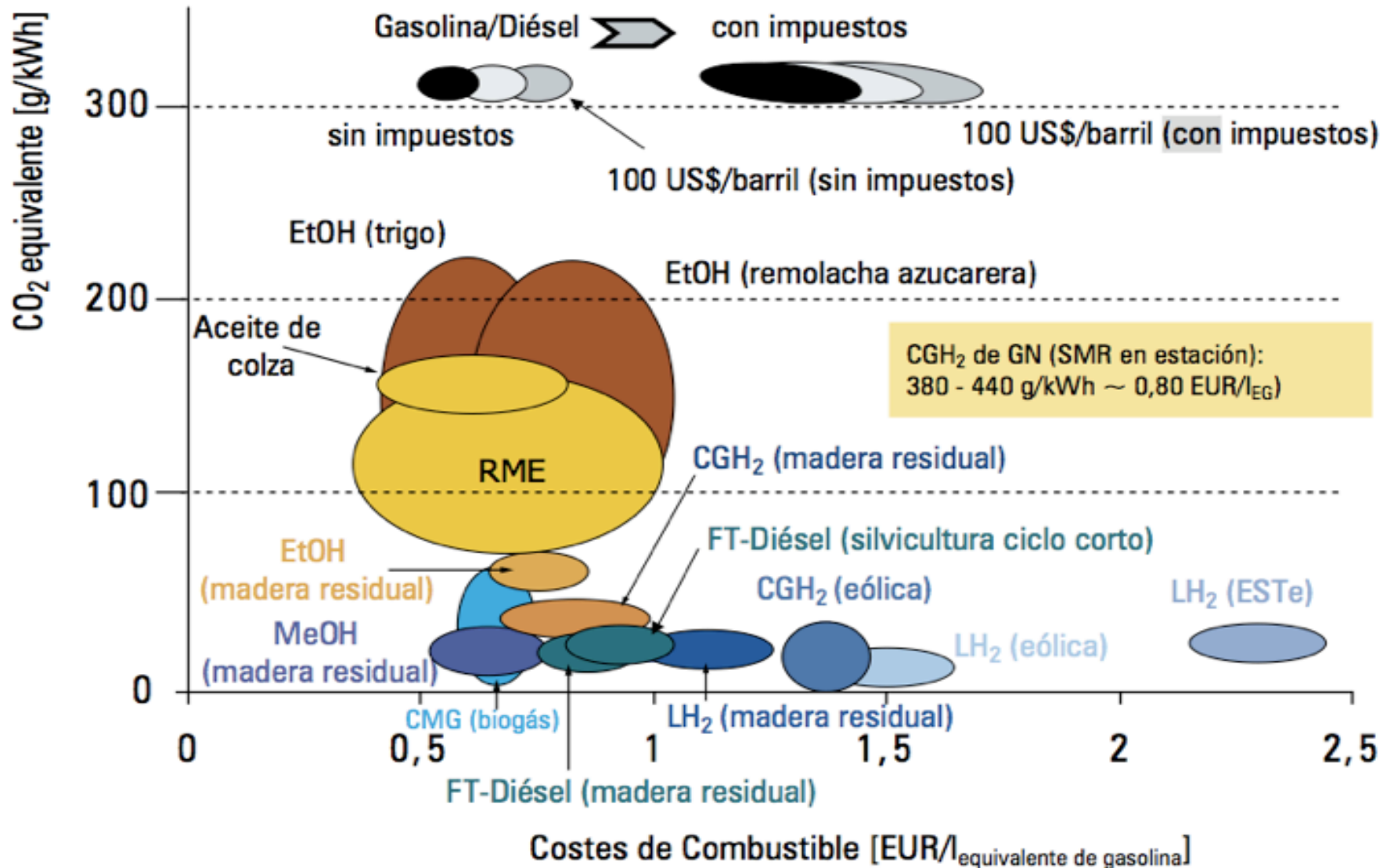
a alternativa ao biogás en vehículos híbridos mais eficiente é o hidróxeno para vehículos con pila de combustible

- o H<sub>2</sub> biomásico en coches de pila de combustible e tan bo como o biogás en híbridos
- o H<sub>2</sub> procedente da enerxía eólica en vehículos de pila de combustible ten un rendemento a lo menos 1.5 veces maior por hectárea
- o H<sub>2</sub> de procedencia fotovoltaica e 6-7 veces máis eficiente por hectárea que o de vehículos biomásicos



# o hidrógeno como alternativa

## CUSTES DE COMBUSTIBLES E EMISIÓN G.E.I. "POZO A DEPÓSITO"



# o hidróxeno como alternativa

## CUSTES DE COMBUSTIBLES E EMISIÓNS G.E.I. “POZO A DEPÓSITO”

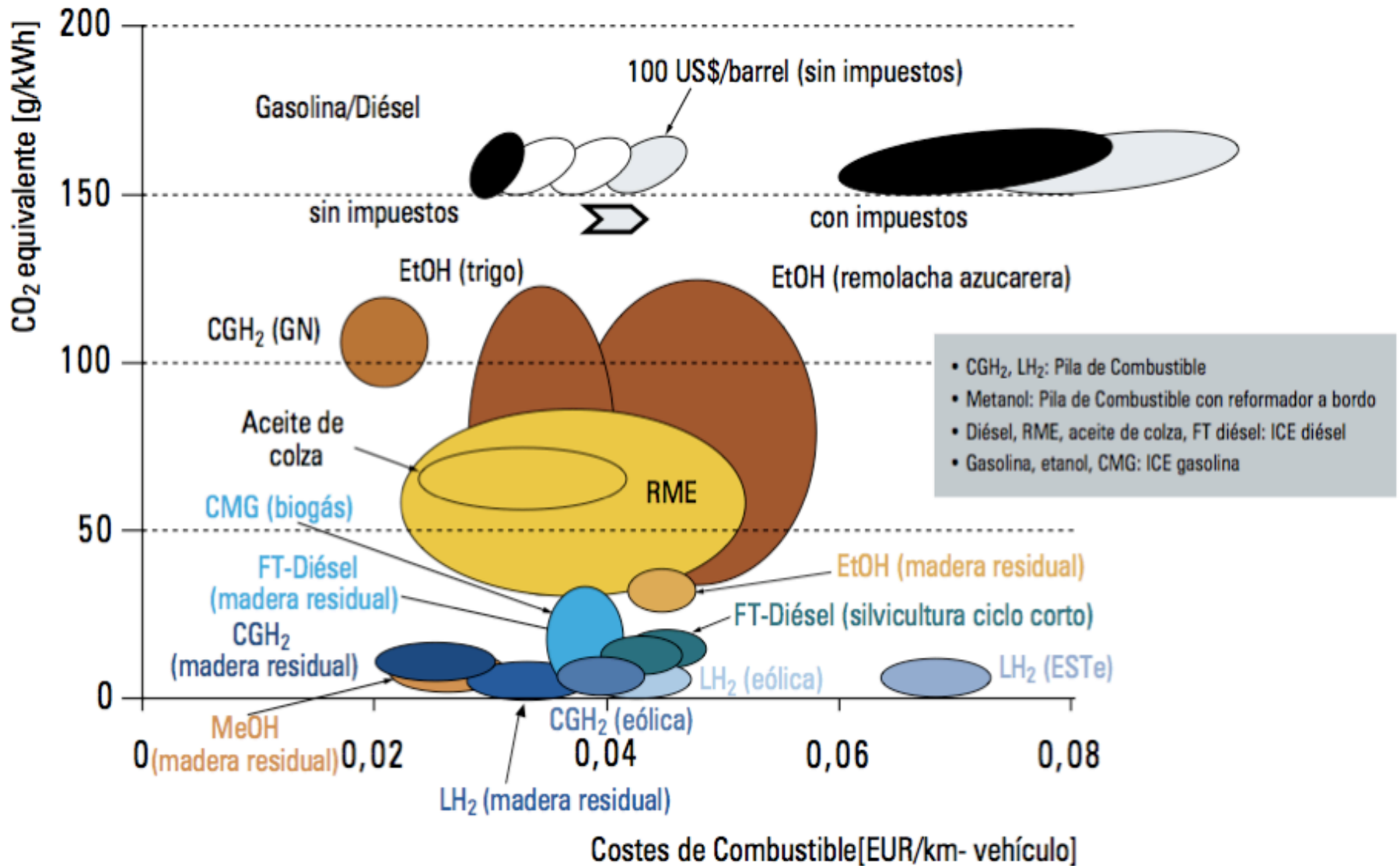
pódese producir combustibles a partir de gas natural, entre 1/2 e 2/3 do custe da gasolina e gasoil.

- o  $\text{CGH}_2$  procedente do gas natural, de residuos de madeira, así como do gasóleo BTL de silvicultura, teñen prezos similares
- o  $\text{CGH}_2$  procedente da silvicultura é algo máis caro
- o  $\text{CGH}_2$  procedente da enerxía eléctrica renovable custa un 50% máis

o hidróxeno perde vantaxe antes da estación de servizo polos requisitos técnicos de infraestrutura para almacenamento e transporte

# o hidrógeno como alternativa

## CUSTES DE COMBUSTIBLES E EMISIÓN G.E.I. "POZO A RODA"





## CUSTES DE COMBUSTIBLES E EMISIÓNS G.E.I. “POZO A RODA”

facendo o mesmo estudo incluíndo unha transmisión eficiente para os vehículos de hidróxeno propulsados por pila de combustible:

- os custes oscilan dende algo por debaixo do prezo da gasolina e gasoil ata un 50 % superior, para case todas as alternativas de hidróxeno
- o CGH<sub>2</sub> procedente de gas natural, permite custes de combustibles ata un 40 % inferiores aos de gasolina ou gasóleo
- as emisións de gases de efecto invernadoiro do H<sub>2</sub> extraído do gas natural para automóbiles de pilas de combustibles son ata un 50 % respecto aos de gasolina e gasóleo
- as emisións de gases de efecto invernadoiro do H<sub>2</sub> procedente de enerxías renovables son inferiores a unha sétima parte das producidas por fontes convencionais

o hidróxeno a medio e longo prazo, pode permitir que automóbiles acaden emisións locais “cero” e reducir drásticamente as emisións de gases de efecto invernadoiro a un custe similar aos combustibles convencionais.

