

Ikastaroa: **Energia, industria kimikoa eta bitxikeriak**  
Hitzaldia: *Hidrogeno ekonomia eta saio praktikoa*  
Irakaslea: Jose Luis Ayastuy  
Data: 2008ko uztailaren 9a





# HIDROGENO-EKONOMIA

JL Ayastuy

Zientzia eta Teknologia Fakultatea ZTF-FCT  
Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU

[joseluis.ayastuy@ehu.es](mailto:joseluis.ayastuy@ehu.es)



Eibar, 2008ko uztailaren 7tik 11ra



***Bai, lagunak, etorkizunean, ura erregai bezala erabiliko dela uste dut; uraren osagaiak diren hidrogenoak eta oxigenoak, banatuta edo batera erabiliz, energia iturri agortezina eskainiko dute, ikatzak eskaintzen duena baino handiagoa.***

***Uharte misteriotsua***  
**Jules Verne, 1874**



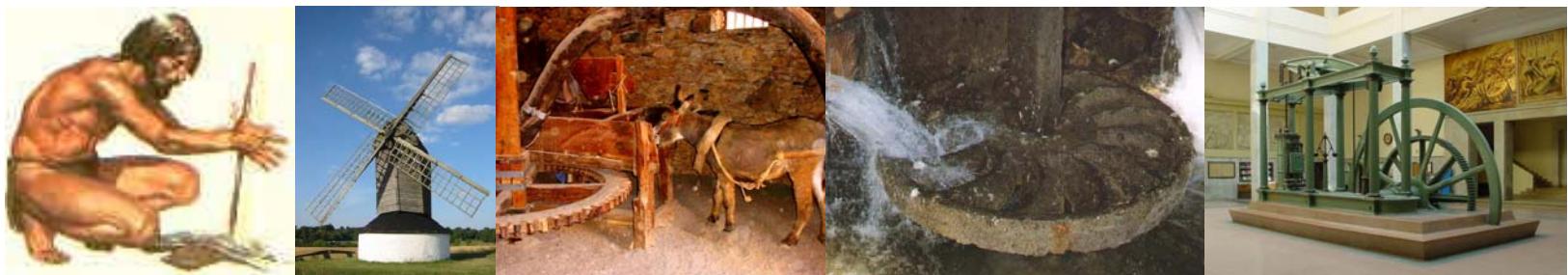
- 1. SARRERA**
- 2. EKOIZPENA & FINTZEA**
- 3. METAKETA**
- 4. ERABILERA ENERGIAREN LORPENEAN**



# 1. SARRERA



Gizakiaren garapenean **ENERGIAk** berebiziko garrantzia izan du (sua, haize-errotak, abereak, ur-errotak, lurrun-makinak, ...)



**Gaur egun, energia erabiltzen da gizartearen arlo eta jarduera guztieta :**

- Industrian
- Garraioan
- Etxebizitzetan
- ...

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## Historian zehar energia-iturriak aldatuz joan dira:

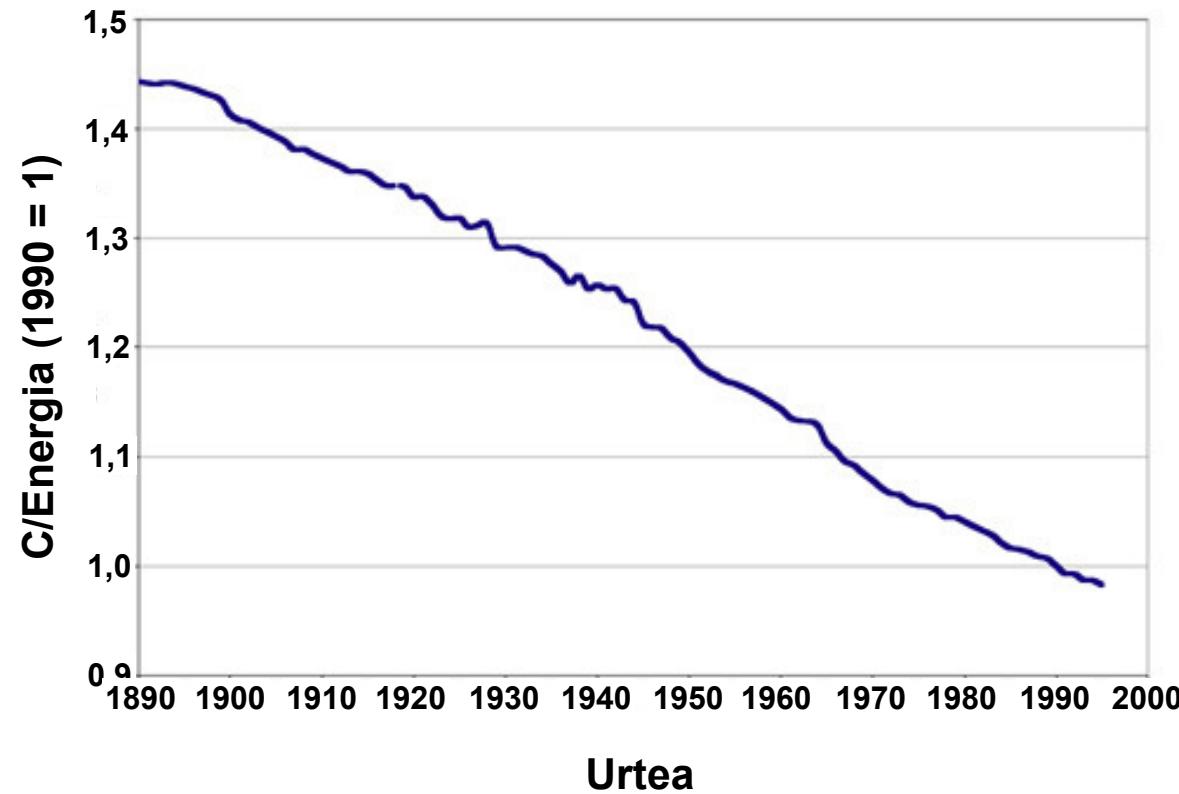
- Baliabidearen garestitzeagatik.
- Baliabideak agortzeagatik.
- Eraginkorragoak diren beste energia-iturriak lortzeagatik.
- Ingurumen-inpaktu txikiagoko energia-iturriak garatzeagatik.

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## Energia-iturri primarioak

Ez-berriztagarriak (fosilak)



Petrolioa



GN



Ikatza

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



# Energia-iturri primarioak

## Ez-berriztagarriak (fosilak)



Petrolioa



GN



Ikatza

## Berriztagarriak (agortezinak)

- SARRERA
- EKOIZPENA
- METAKETA
- ENERGIA-REN LORPENA



Eguzkia



Haizea



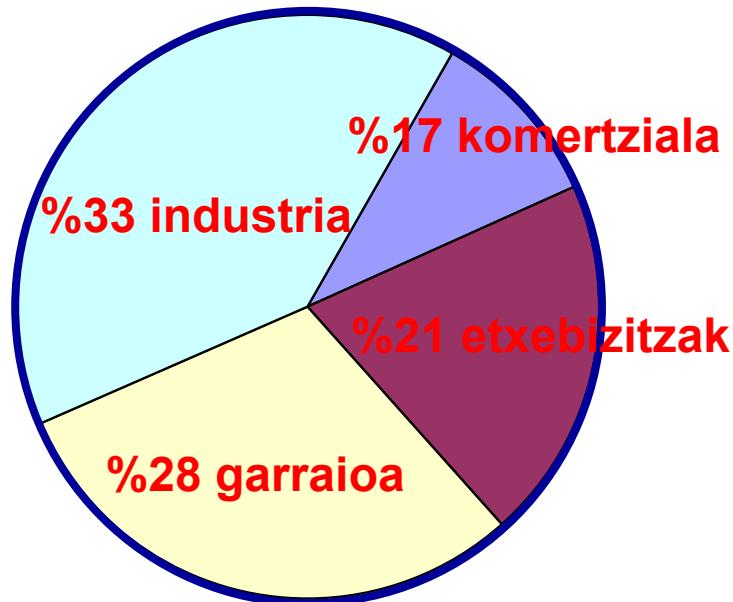
Ura



Biomasa



Lurra



AEB-tan energia primarioaren erabilera (2002)

%49 garraioa & etxebizitzak

U.S. ENERGY CONSUMPTION BY SOURCE		
	<b>BIO MASS</b> <i>renewable</i> Heating, electricity, transportation	<b>2.9%</b>
	<b>PETROLEUM</b> <i>nonrenewable</i> Transportation, manufacturing	<b>38.1%</b>
	<b>HYDROPOWER</b> <i>renewable</i> Electricity	<b>2.7%</b>
	<b>NATURAL GAS</b> <i>nonrenewable</i> Heating, manufacturing, electricity	<b>22.9%</b>
	<b>GEOTHERMAL</b> <i>renewable</i> Heating, electricity	<b>0.3%</b>
	<b>COAL</b> <i>nonrenewable</i> Electricity, manufacturing	<b>23.2%</b>
	<b>WIND</b> <i>renewable</i> Electricity	<b>0.1%</b>
	<b>URANIUM</b> <i>nonrenewable</i> Electricity	<b>8.1%</b>
	<b>SOLAR &amp; OTHER</b> <i>renewable</i> Light, heating, electricity	<b>0.1%</b>
	<b>PROPANE</b> <i>nonrenewable</i> Manufacturing, heating	<b>1.7%</b>

AEB-tan energia primarioaren iturria (2002)

%85 erregai fosilak

SARRERA

EKOIZPENA

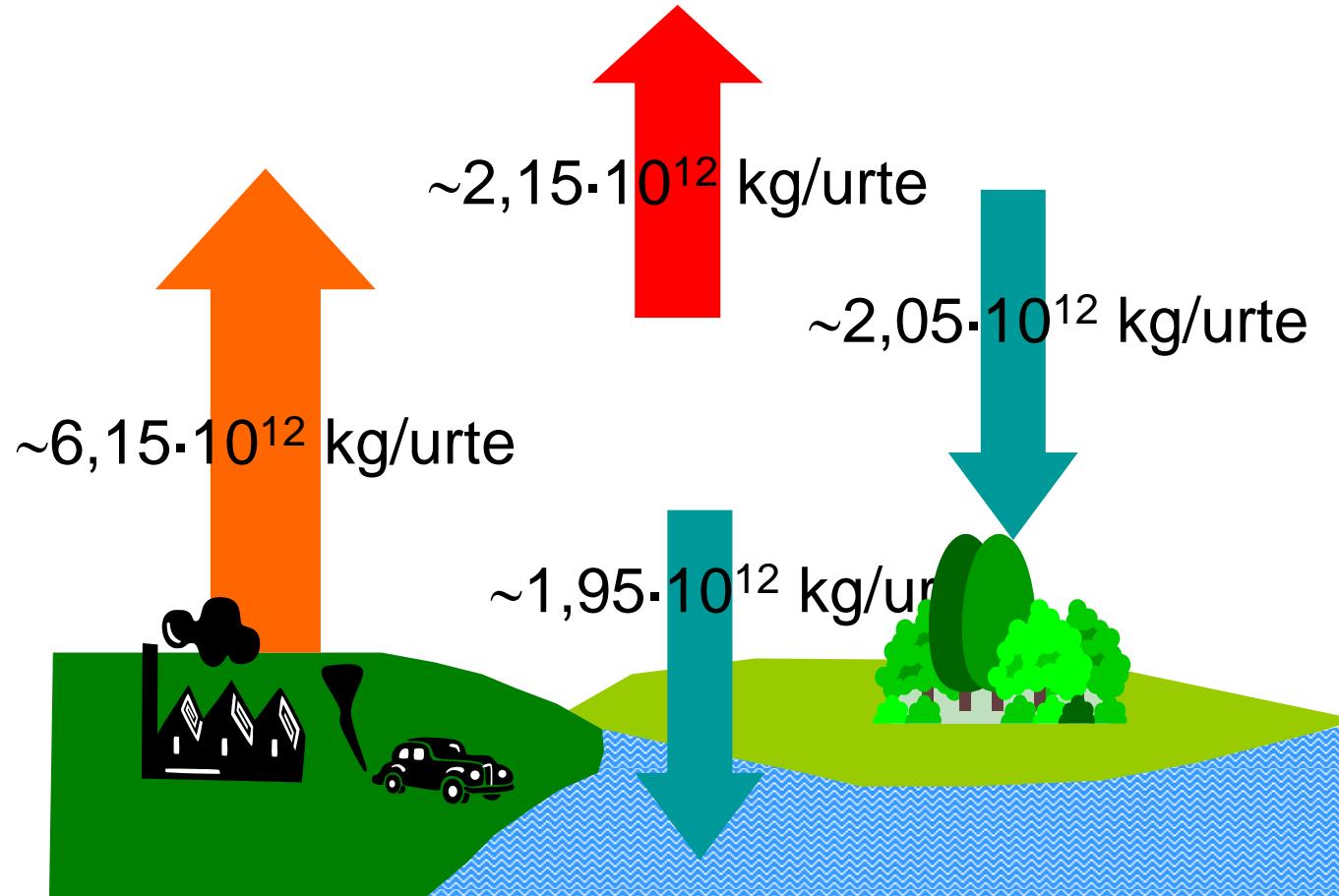
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## Negutegi efektua. Aldaketa klimatikoa?

### Erregai fosilak: CO<sub>2</sub>-ren balantzea



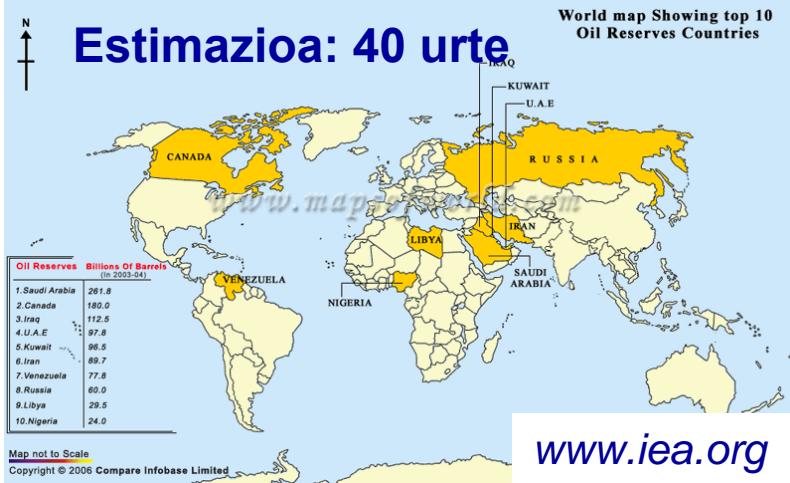
Atmosferan CO<sub>2</sub>-ren urteko hazkundea % 0,4 eragin antropogenikoaz

Science 305 (2004) 367-371

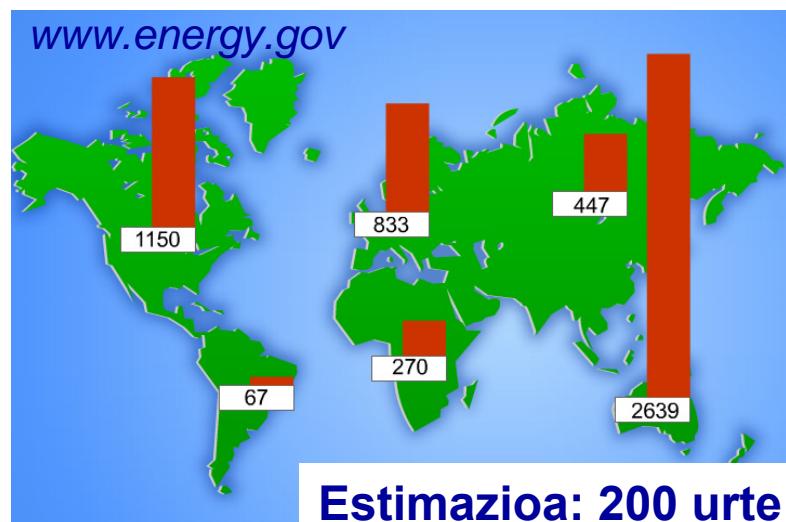


### Baliabide naturalen agortzea

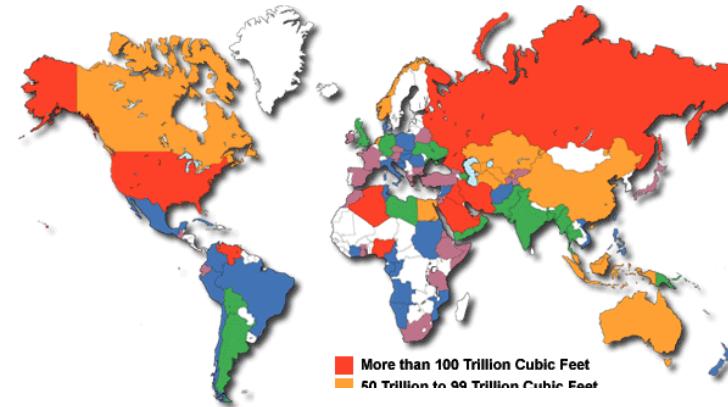
**Estimazioa: 40 urte**



Mundu mailako petrolio erreserbak (2003)



Mundu mailako ikatz erreserbak (2003)



Source: Oil & Gas Journal, "Worldwide Report," December 23, 2002

Mundu mailako gas natural erreserbak (2003)

### Baliabide naturalen garestiztea

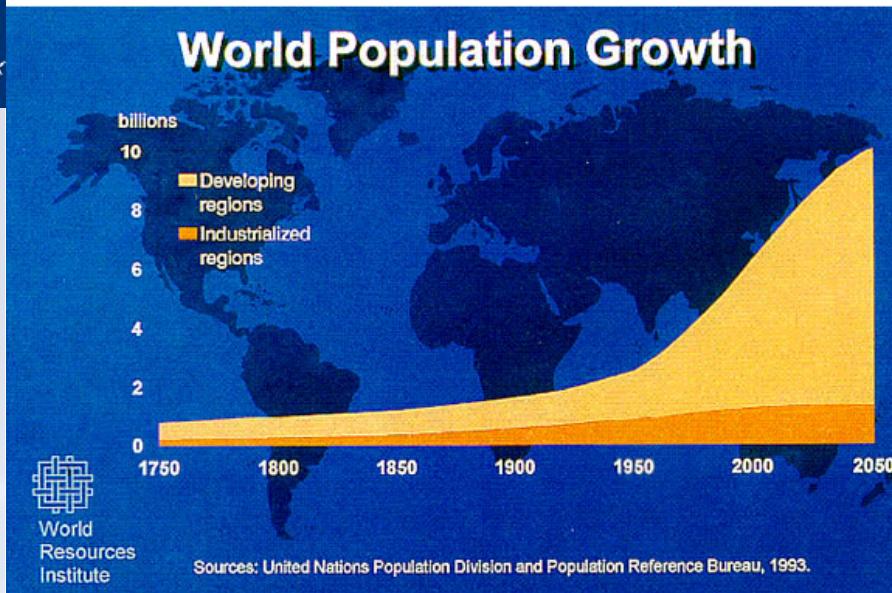


SARRERA

EKOIZPENA

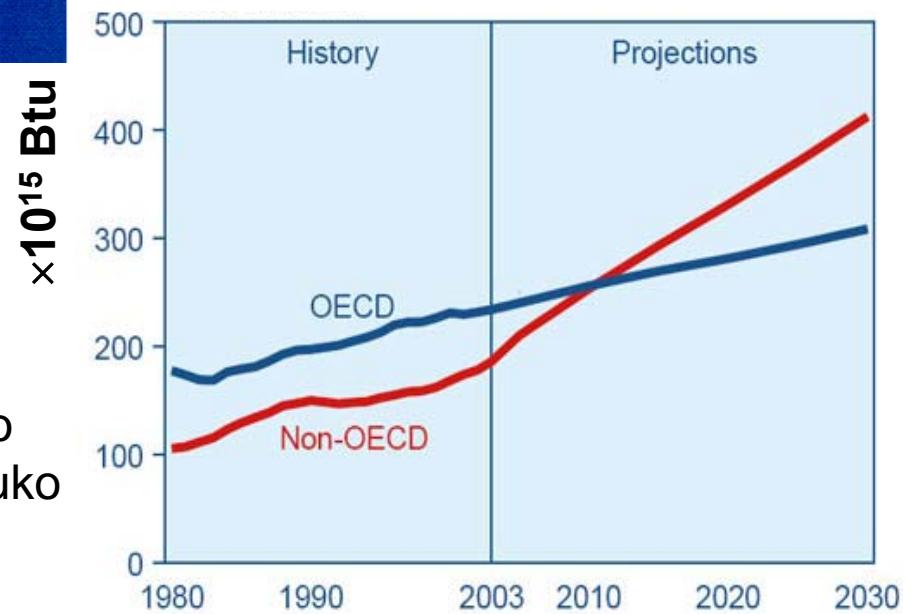
METAKETA

ENERGIA-REN LORPENA



Biztanleria etengabe handituaz doa.

Garatze bidean dauden herrialdeetan hazkundea esponentziala da.



SARRERA

EKOIZPENA

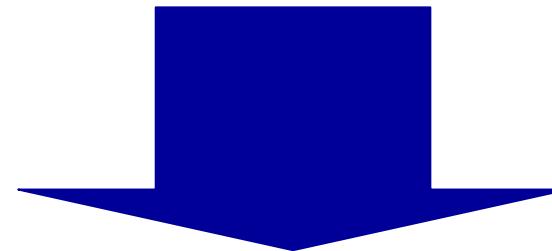
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

Garatze bidean dauden herrialdeetako energia eskaria esponentzialki handituko da.



## Energia berriztagarriak garatzeko eta erabiltzeko baldintzak



### HIDROGENOA

Energia bektore gisa

GARRAIORAKO eta ETXEETARAKO energia-iturri aproposa

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

### HIDROGENO-EKONOMIA

Hidrogeno molekularren ekoizpena, garraioa, metatzea eta azken erabilera.



## HIDROGENOA: HISTORIA

1766an Henry Cavendishek identifikatu eta isolatu zuen:



*Henry Cavendish (1731-1810)*

Oxigenoarekin **URA** sortzen zuela ohartzean, Lavoisier-ek **HIDROGENO** deitu zuen (grekeraz *ur-sortzailea*)



*Antoine Lavoisier (1743-1794)*

*Hidrogenoa “erre” zuen ekipoa*

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## HIDROGENOA: PROPIETATEAK

□ Isolatuta, forma molekularra hartzen du  $\text{H}_2$

Fasea

**Gasa**

Pisu molekularra

**2,01 g/mol**

Irakite tenperatura

**20,3 K**

Dentsitatea NTP

**0,0838 (kg/m<sup>3</sup>)** (airea baino 15 aldiz arinagoa)

Goi bero-ahalmena (GBA)  **$14,2 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}$**  (gasolina baino 3 aldiz handiagoa)

**Isotopoak (atomoen %)**

**$^1\text{H}$  protioa** %99,98

**$^2\text{H}$  deuterioa** %0,018

**$^3\text{H}$  tritioa** %0,002

### GBA

—sustantzia kimikoaren energia kimikoaren adierazle—

**25 °C-ra dagoen sustantzia erre eta errekuntza-produktuak**

**25 °C-ra daudenean askatzen den energia**

SARRERA

EKOIZPENA

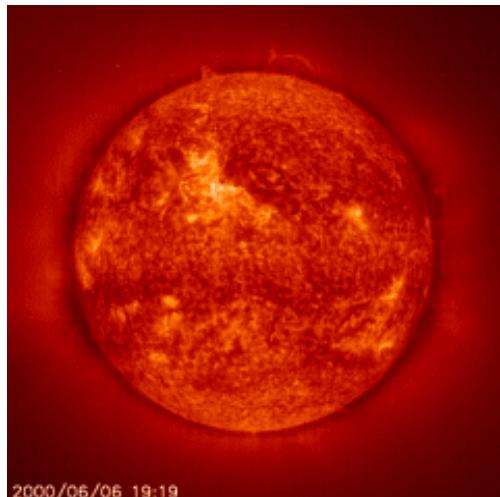
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

<b>Ikatza</b>	<b><math>3,40 \cdot 10^4</math></b>
<b>Gas Naturala</b>	<b><math>4,25 \cdot 10^4</math></b>
<b>Gasolina</b>	<b><math>4,67 \cdot 10^4</math></b>
<b>Diesela</b>	<b><math>4,59 \cdot 10^4</math></b>



- Unibertsoaren **energia gordailua** da:  
**Fusio-erreakzioak izarretan**



*Eguzkiaren argazkia  
NASA/ESA-ren SOHO sateliteko irudia  
2000ko ekainaren 6-8 tartea*

Fusio-erreakzioak ( $\sim 10^7$  K)



$$1 \text{ kg H} \rightarrow 6,5 \cdot 10^{14} \text{ J}$$

2003 urtean EAEn energia kontsumo osoa  
 $3,0 \cdot 10^{17} \text{ J}$

Urte bakoitzeko beharrak

$$456 \text{ kg } ^1\text{H}$$

asetuko lituzke

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## HIDROGENOA: ITURRIAK

- ❑ Naturan, elementu kimikoetan konbinatuta aurkitzen da



*Ura*



*Biomasa*



*GN, petrolioa*



*Ikatza*

- ❑ Naturan EZ DA ASKE aurkitzen, sortu egin behar da

**(EZ DA BALIABIDE NATURALA)**

Beste Iturri eta Baliabideetatik SORTU egin behar da  
**(BALIABIDE PRIMARIOAK)**

- ❑ Hidrogenoaren ekoizpenak **ENERGIA BEHAR** du



## ENERGIA BEKTOREA EDO GORDAILUA

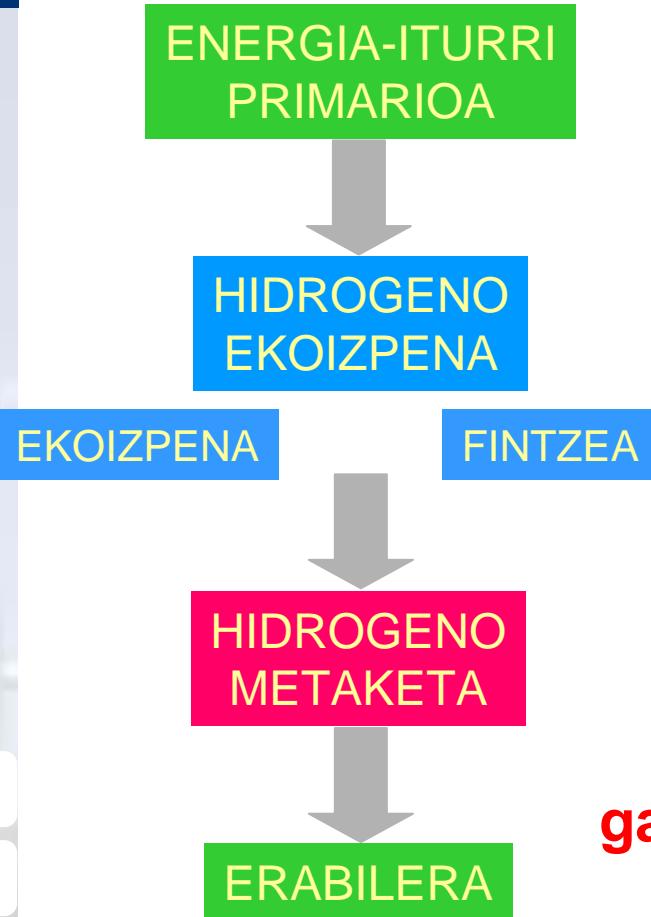
Energia gordetzen edo daukan sustantzia.

- Hidrogenoa, bada.
- Edozein iturri primariotik sor daiteke (elektrizitatea barne).
- Gorde/metatu egin daiteke (elektrizitatea ez bezala).
- Elektrizitate bihurtzean ez du CO<sub>2</sub>-rik sortzen.
- Elektrizitate ↔ H<sub>2</sub> elkar-trukeak eraginkortasun handia dauka.
- Lehengai agortezina (Ura).
- Garraio errazekoa (hodiak, gordailuak, ...)

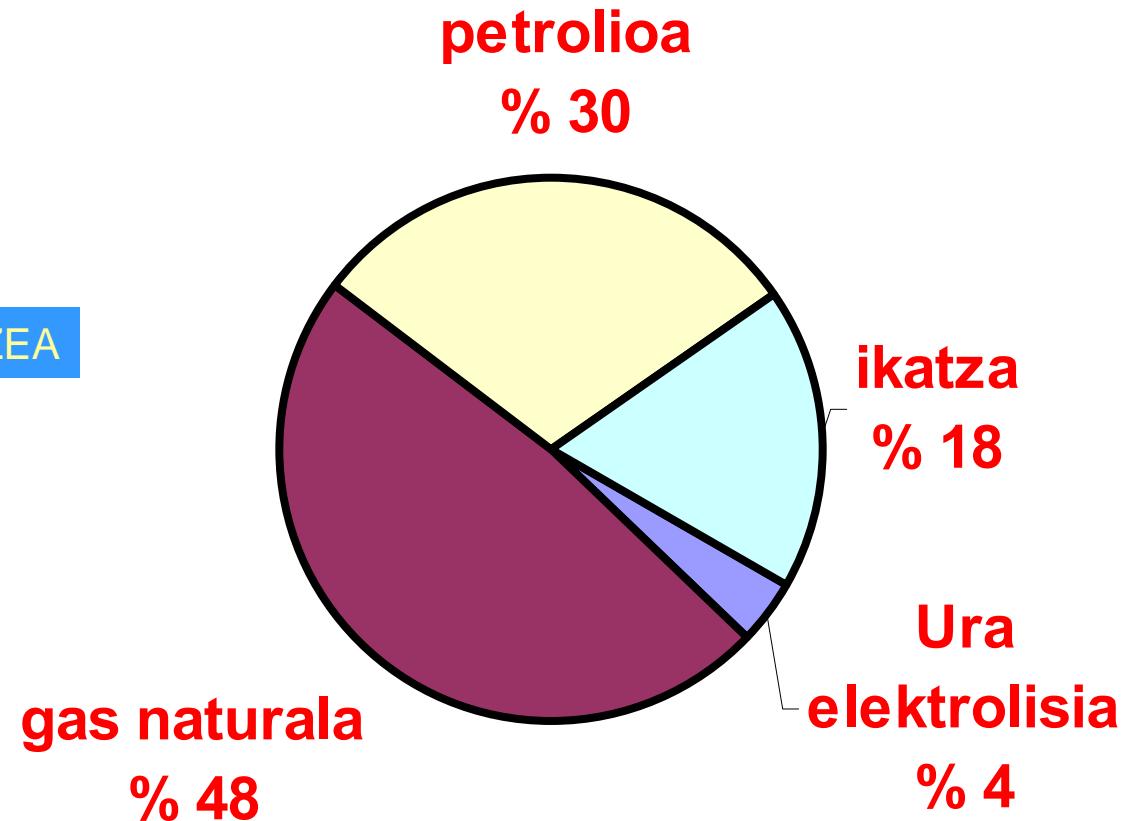
Ekoizten den hidrogenoaren **garbitasuna**, iturri bezala aukeratzen den **lehengaia**, lorpenerako **prozesua** eta prozesuan erabilitako **energiaren araberakoa** da.



## 2. EKOIZPENA



## HIDROGENOAREN LORPENA GAUR EGUN



- SARRERA
- EKOIZPENA
- METAKETA
- ENERGIA-REN LORPENA

*Air Products and Chemicals (2003)*



## BALIABIDEA

URA

## PROZESUA

ELEKTROLISIA

## ENERGIA PRIMARIOA

NUKLEARRA  
BERRIZTAGARRIA

URA

IODURO-SULFURO ZIKLOA

NUKLEARRA

BIOMASA

GASIFIKAZIOA

EGUZKI-ENERGIA  
MIKROBIARRA  
TERMOKIMIKOA

GAS NATURALA

ERREFORMATUA

TERMOKIMIKOA

IKATZA

GASIFIKAZIOA

TERMOKIMIKOA

HIDROKARBUREROAK

ERREFORMATUA

TERMOKIMIKOA

BIOERREGAIAK

ERREFORMATUA

TERMOKIMIKOA

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



URA

ENERGIA ELEKTRIKOA



URA

ENERGIA TERMOKIMIKOA



DESKONPOSAKETA

ENERGIA FOTOBIOLOGIKOA



$H_2 + O_2$

SARRERA

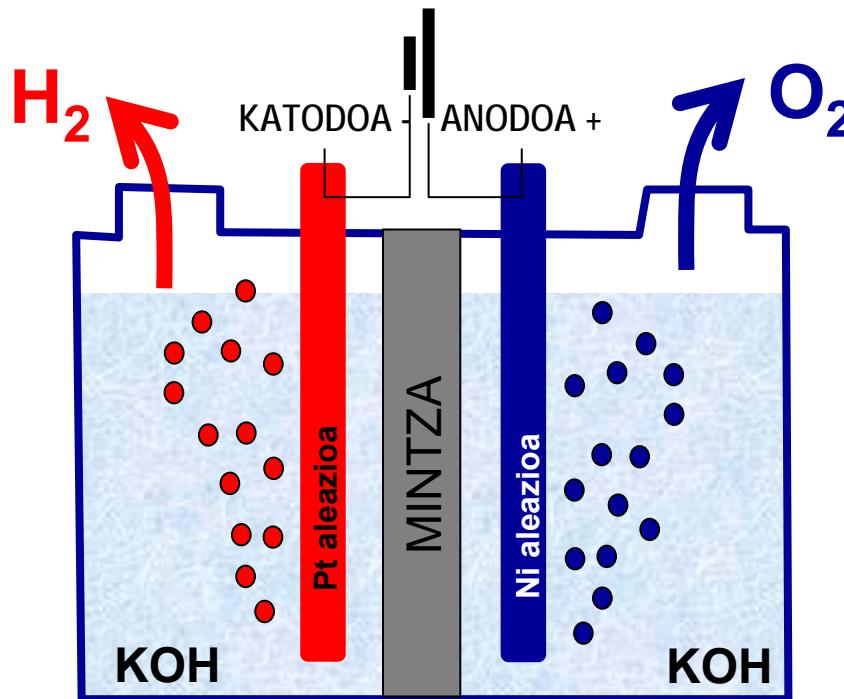
EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## URA - ELEKTROLISIA



### Mintza

Ioientzako iragazkorra  
Gasentzako iragazgaitza



- Ez du CO<sub>2</sub>-rik sortzen
- Purutasun handiko H<sub>2</sub>
- Eskala txikirako bideragarria izan daiteke
- Elektrizitate soberakinarekin lor daiteke

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

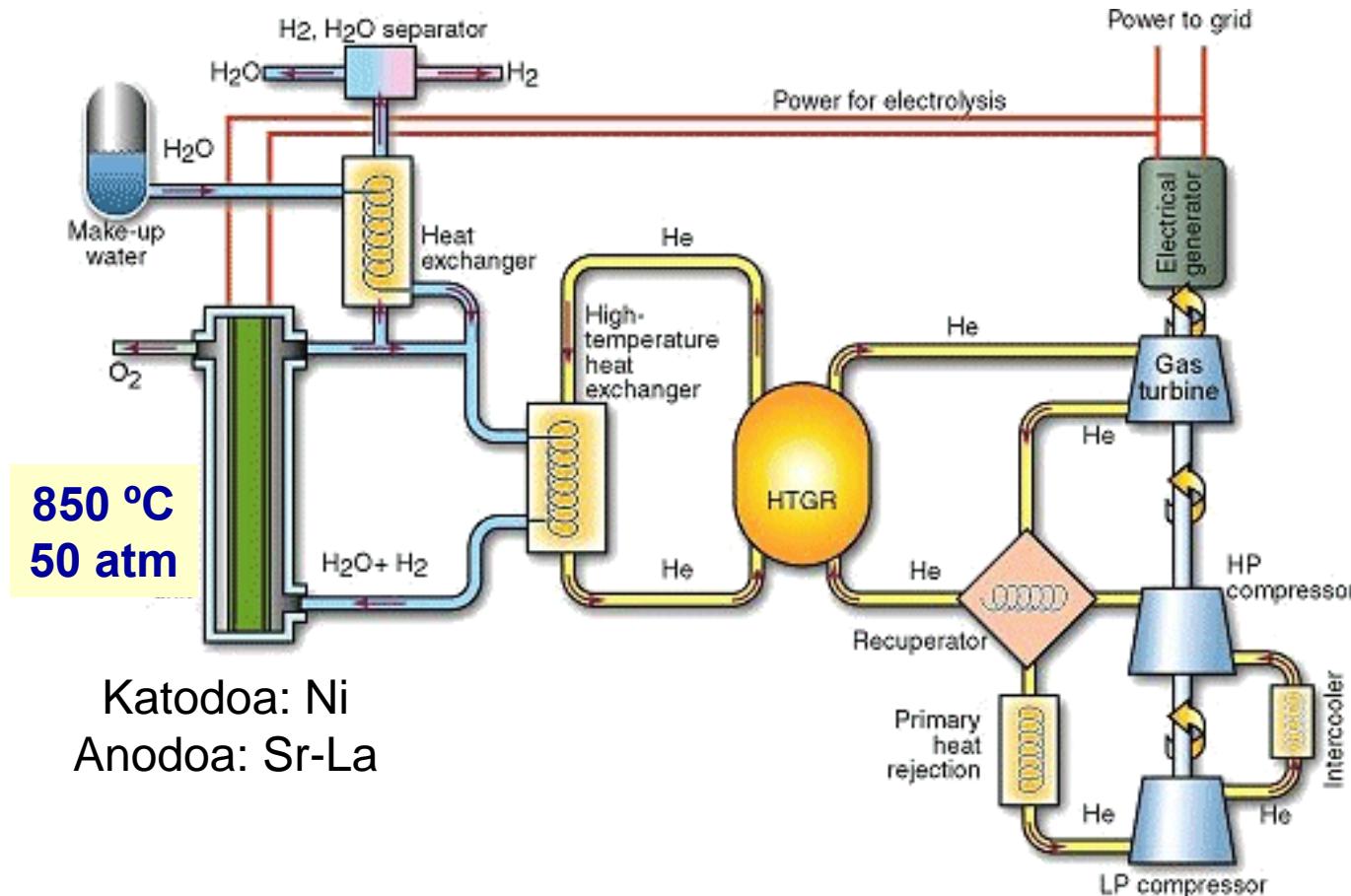
ENERGIA-REN  
LORPENA



## URA - ELEKTROLISIA



Tenperatura eta Presio garaiagotan  
Eraginkortasun handiagoa



*Erreaktore nuklearra uraren elektrolisia burutzeko moldatuta*

SARRERA

EKOIZPENA

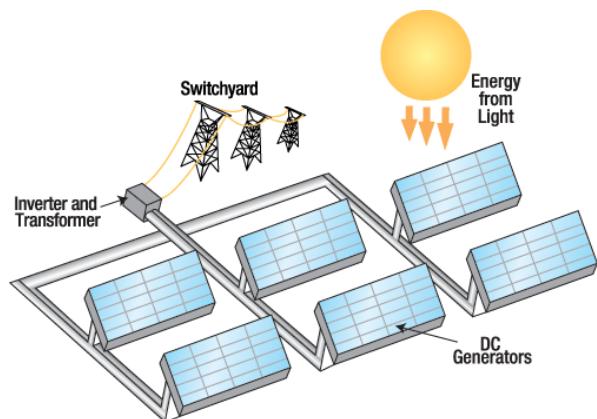
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

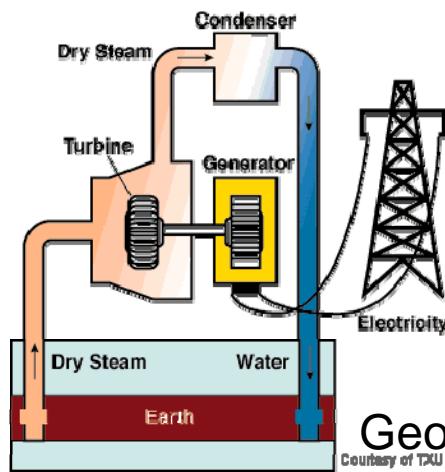
## Hidrogeno-ekonomia



### URA - ELEKTROLISIA



Eguzkia-fotoboltaikoa

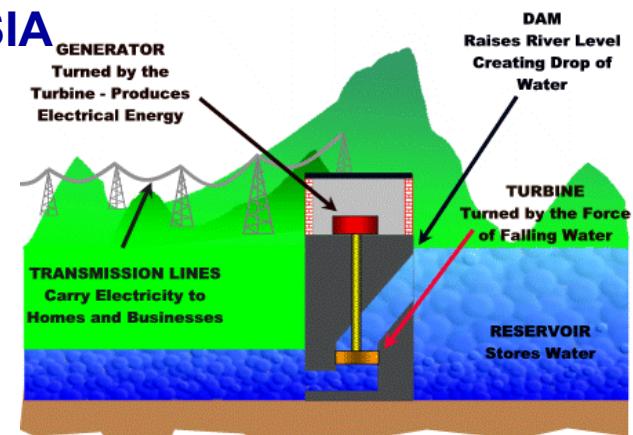


Geotermikoa



Eolikoa

### Elektrizitatea ELEKTROLISIA

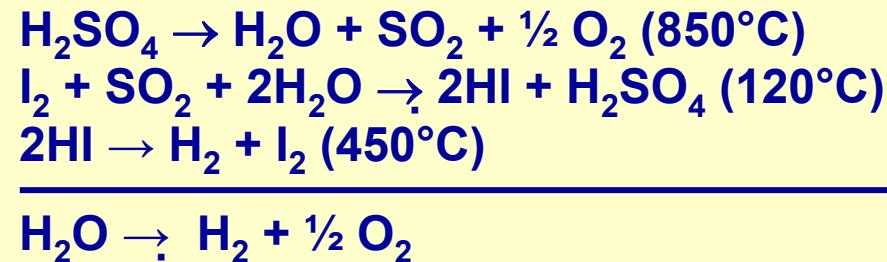


Hidraulikoa

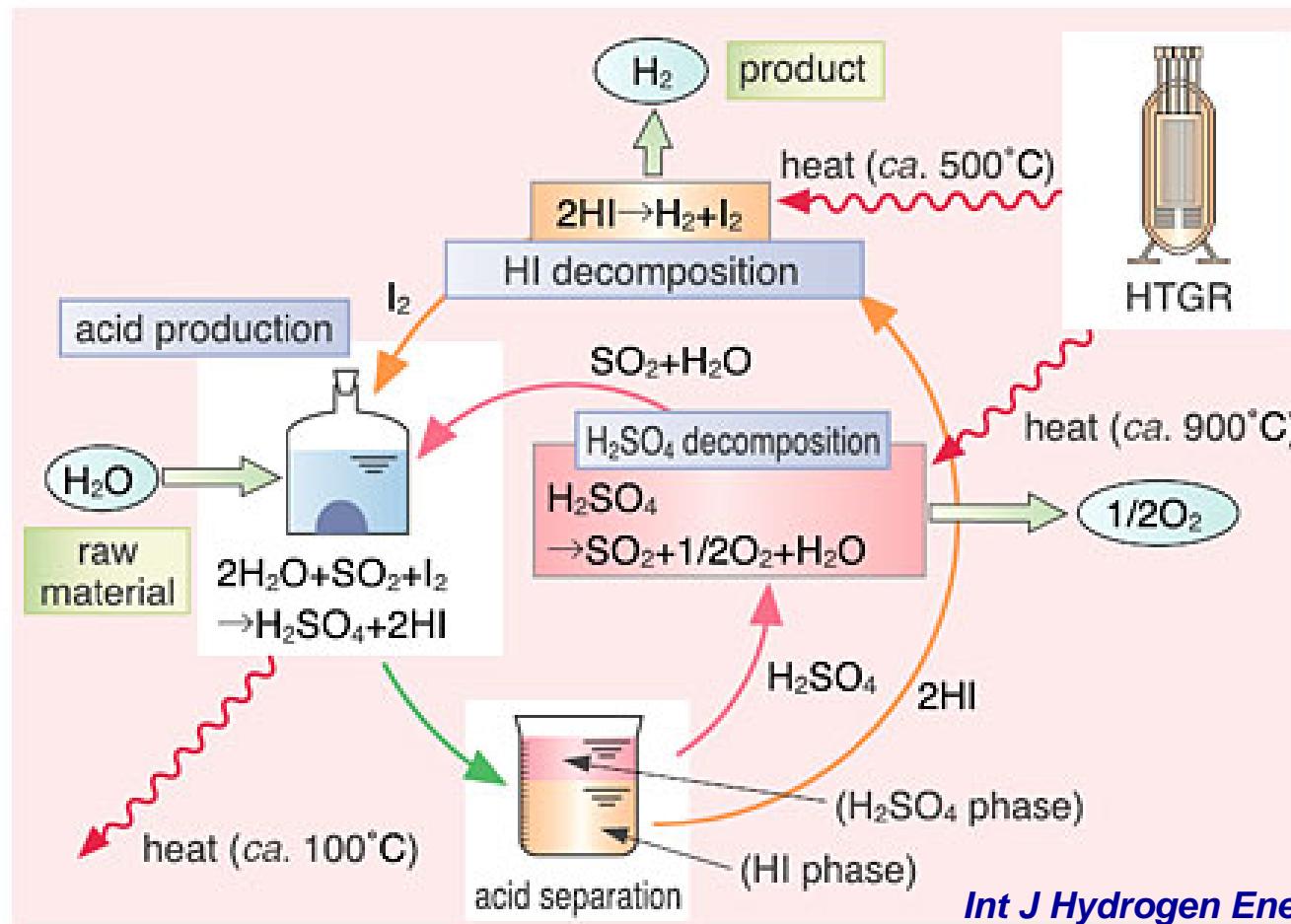


## URA – IODURO-SULFURO

- SARRERA
- EKOIZPENA
- METAKETA
- ENERGIA-REN LORPENA

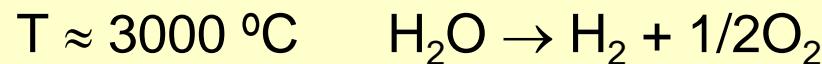


*Ioduro-sulfuro metodoaz  
Hidrogenoaren ekoizpena*

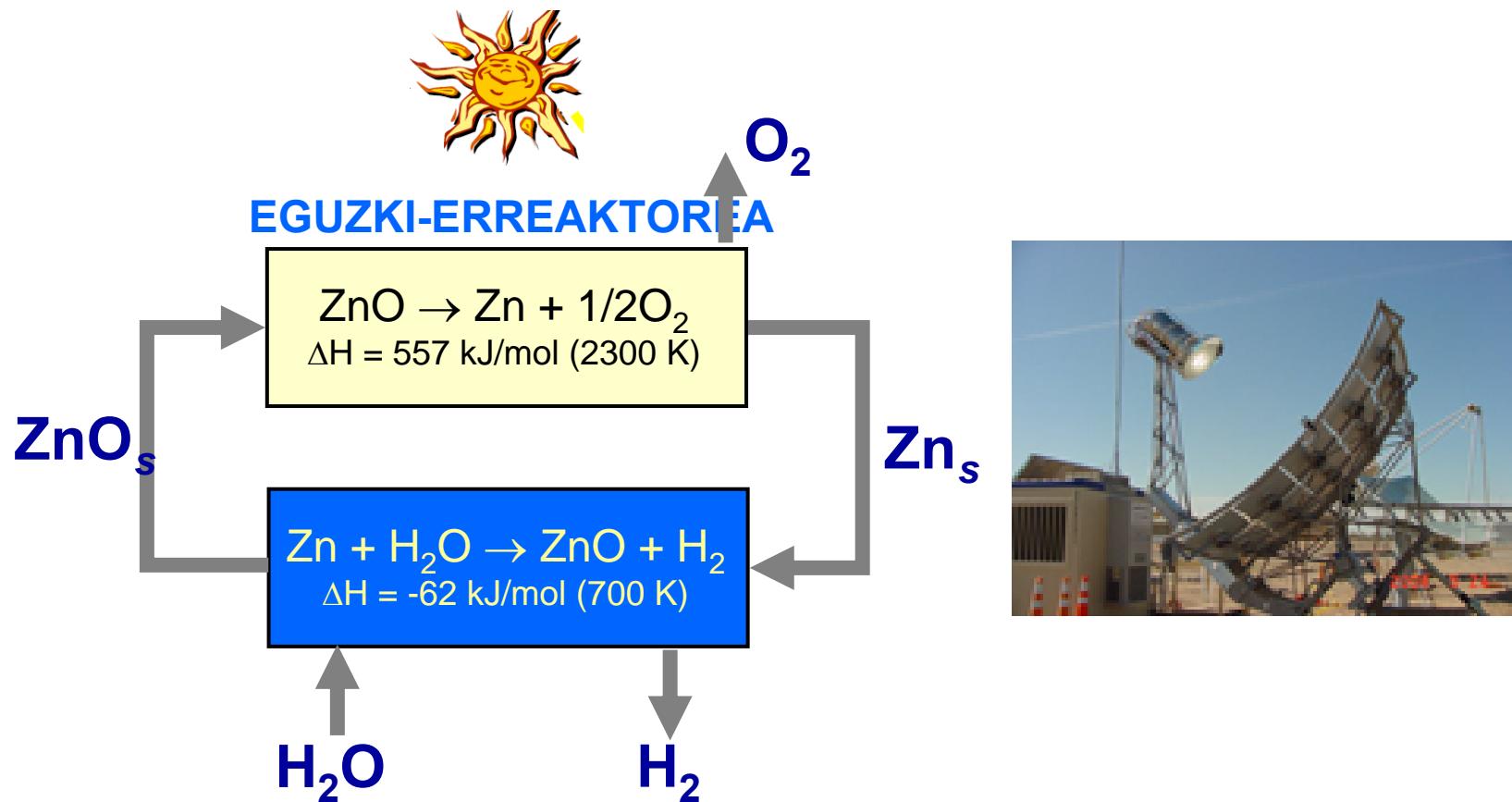




## Disoziazio termikoa (eguzki-energia)



Bihurtze-maila baxua (<10%)  
Eraginkortasun baxua (24%)





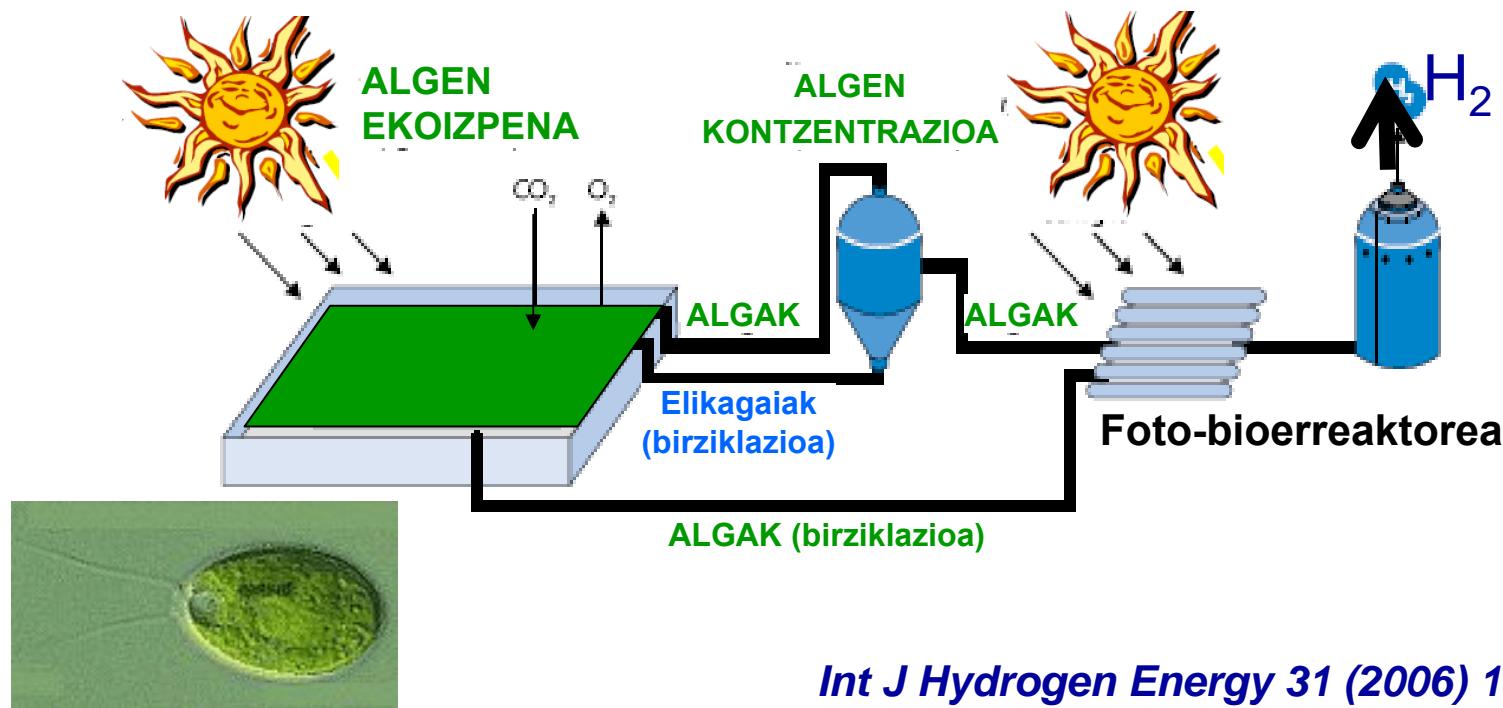
## URA – Beste metodoak

### Disoziazio fotobiologikoa (eguzki-energia)

Fotosintesia:  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$   
 H<sub>2</sub> ekoizpena:  $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2$

Kat Hidrogenasa  
 (bakteriak, alga berdeak,...)

*Chlamydomonas reinhardtii*  
 Eraginkortasun baxua (10%)



*Int J Hydrogen Energy 31 (2006) 1585-1590*

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



Biomasa: Egurra, nekazaritza-hondakinak, sitsa, ...

## BIOMASA - GASIFIKAZIOA

850 °C  
Oxigeno eskasian



CO	22%
CO <sub>2</sub>	12%
<b>H<sub>2</sub></b>	<b>20%</b>
CH <sub>4</sub> +N <sub>2</sub>	46%

ELEKTRIZITATEA  
*Turbinetan*

H<sub>2</sub>  
*Purifikazioa*



eraginkortasuna  
% 60-70

*Biomasaren gasifikaziorako erreaktorea*

*Fuel 86 (2007) 684-689*

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



	Antrazita	Hulla	Lignitoa
C	%85-95	%45-85	%65-75
H	%2	%5	%5

XIX. Mendearen hasieran  
XXI. mendea

Hirien horriduran erabilia  
IGCC (ziklo konbinatuak)

## IKATZA - GASIFIKAZIOA



C-ren bihurtze-maila ~ %99

800 – 1700 °C  
30 atm  
Oxigeno eskasian  
Ura



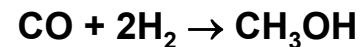
CO	60%
CO <sub>2</sub>	3%
<b>H<sub>2</sub></b>	<b>30%</b>
CH <sub>4</sub>	2%

ELEKTRIZITATEA

IGCC

SINTESIA

metanola



H<sub>2</sub>  
purifikazioa



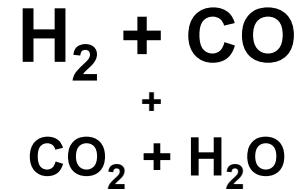
**GAS NATURALA:** %90-93 CH<sub>4</sub>

**HIDROKARBURUAOK:** C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> n>7

**BIOETANOLA:** C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

**BIODIESELA:** %40-50 C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub> (Az. Oleikoa)

SINTESI  
GASA



### UR-LURRUNEZKO ERREFORMATUA (SR)

Prozesu katalitikoa

Oso Endotermikoa

H<sub>2</sub>/CO = 3

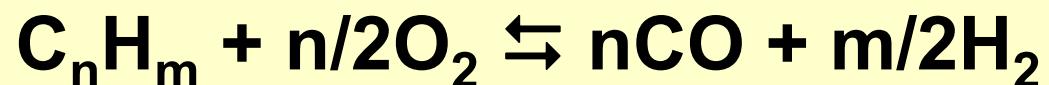


### OXIDAZIO PARTZIALA (POX)

Katalitikoa/ez-katalitikoa

Oso Exotermikoa

H<sub>2</sub>/CO = 2

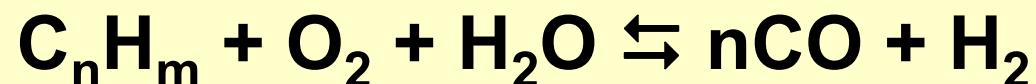


### ERREFORMATU AUTOTERMIKOA (ATR)

Prozesu katalitikoa

Termikoki orekatua

H<sub>2</sub>/CO = 2,5

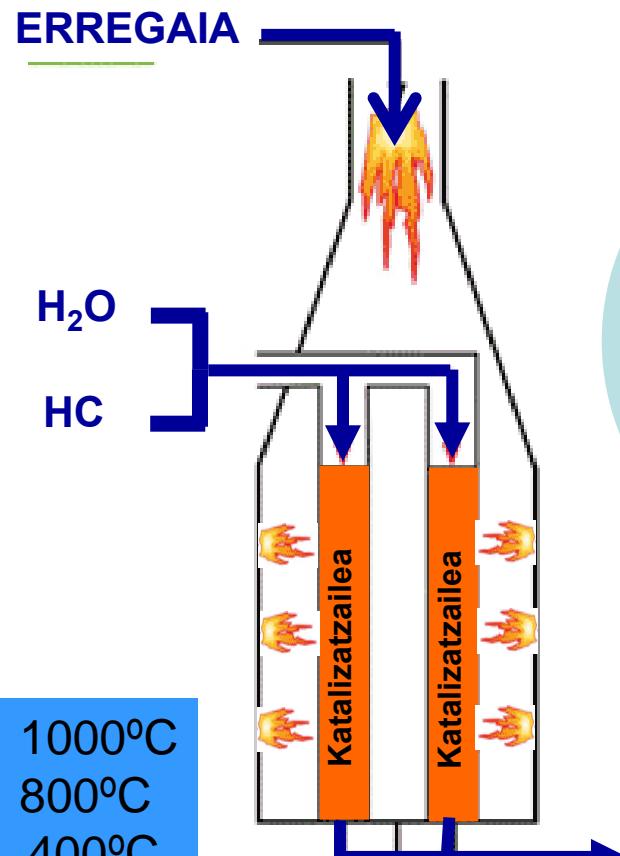




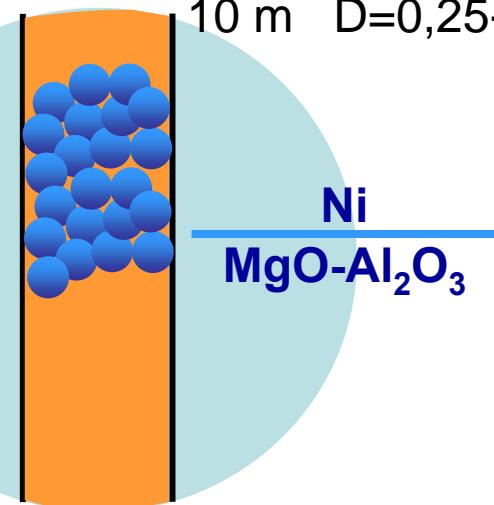
## UR-LURRUNEZKO ERREFORMATUA (SR)

GN, HC, BIOERREGAIAK

GN	1000°C
HC	800°C
Bioetanola	400°C
Biodiesela	600°C



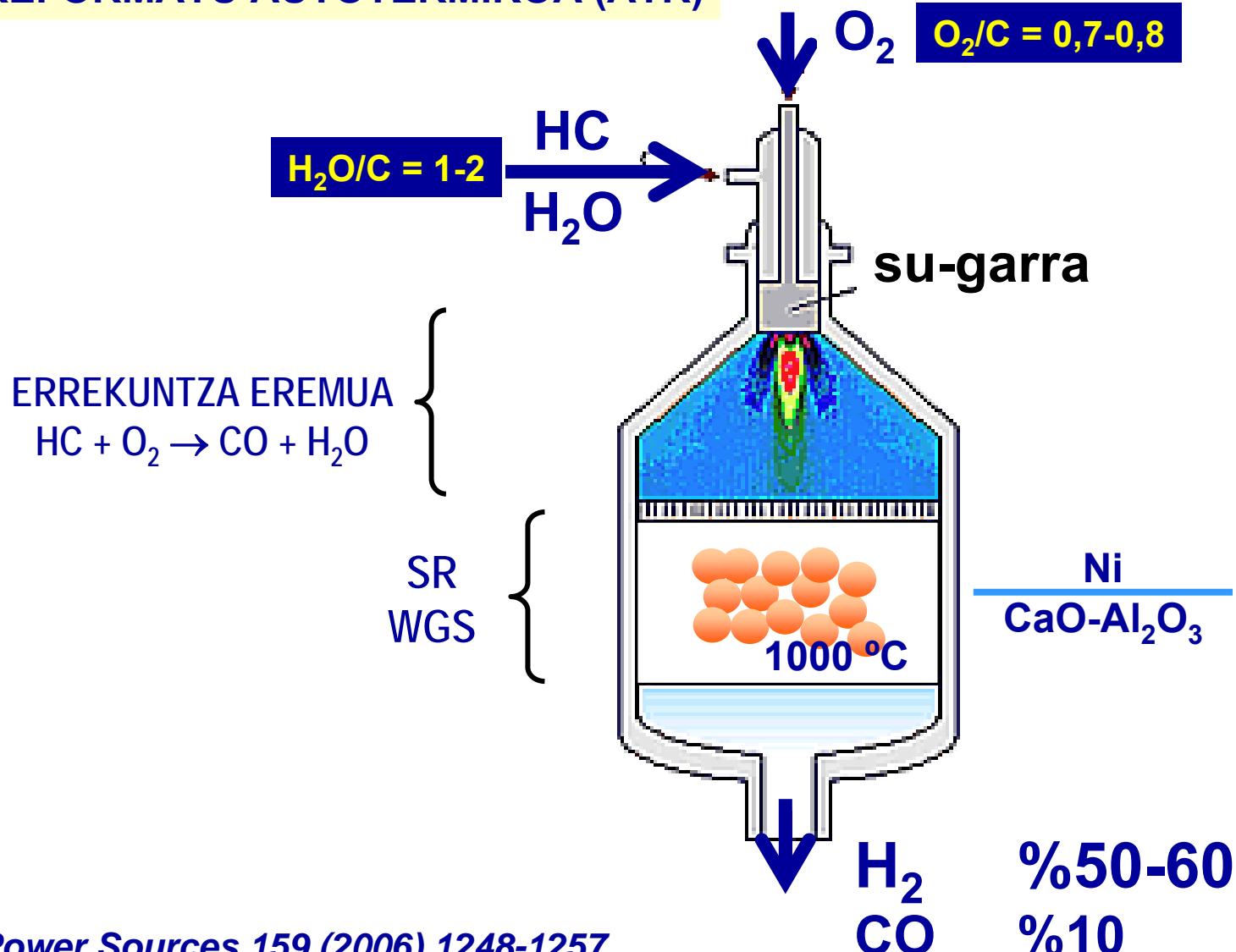
Industrian:  
500-700 hodi  
10 m D=0,25-0,5 m



**H<sub>2</sub>** %60-70  
**CO** %10  
**CO<sub>2</sub>** %8  
 Oinarri lehorrean



## ERREFORMATU AUTOTERMIKOA (ATR)

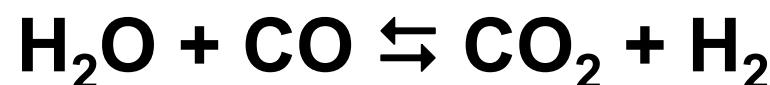
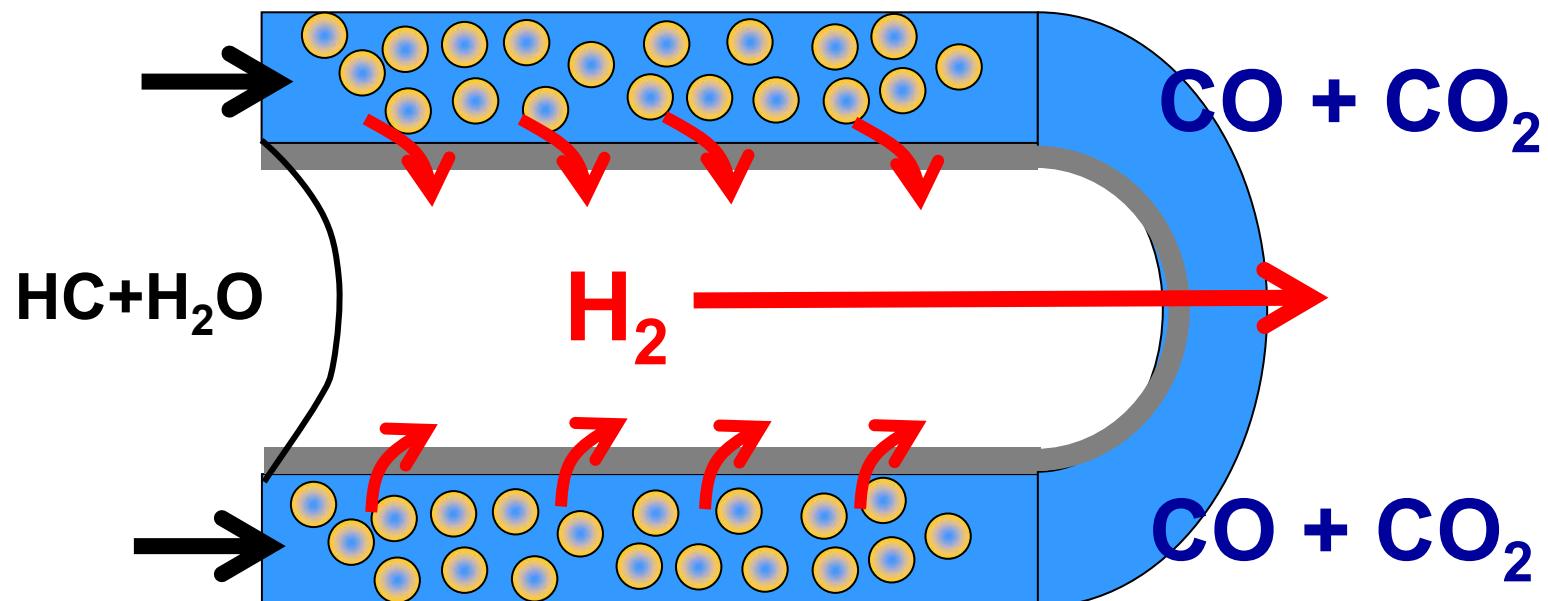




## GARAPEN-FASEKO METODOAK

Garapen-fasean

## MINTZ-ERREAKTOREAN ERREFORMATUA



Fuel 85 (2006) 569-573

GN, HC, BIOERREGAIK

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

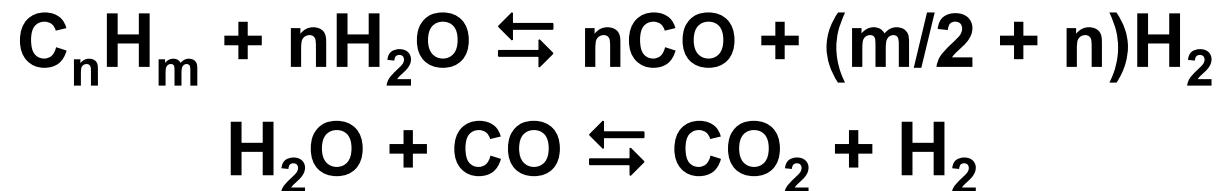
ENERGIA-REN  
LORPENA



## GARAPEN-FASEKO METODOAK

Garapen-fasean

### MINTZ-ERREAKTOREAN ERREFORMATUA



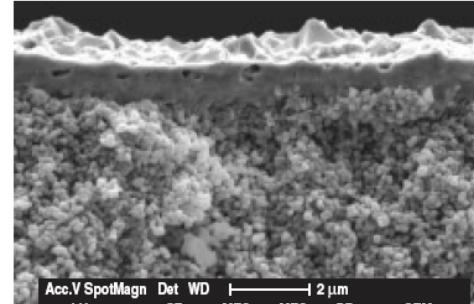
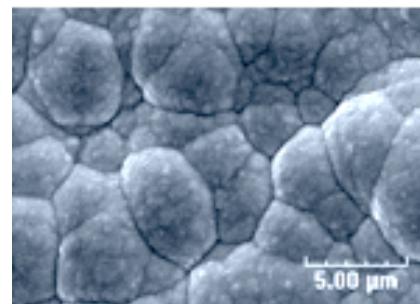
Oreka desplazatzen da: >> H<sub>2</sub>/CO

Termikoki oso eraginkorrik

Momentuz, eskala txikirako

**H<sub>2</sub> > %98**

Mintzak: **Pd**



**TEM irudiak**

*Fuel* 85 (2006) 569-573

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

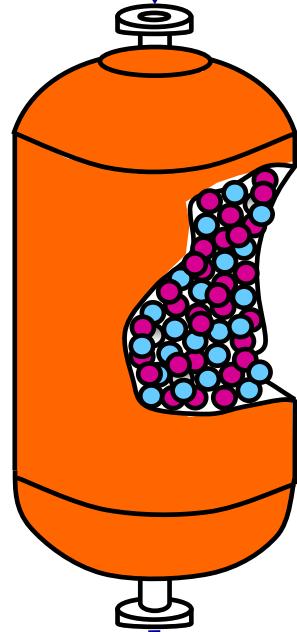
ENERGIA-REN  
LORPENA



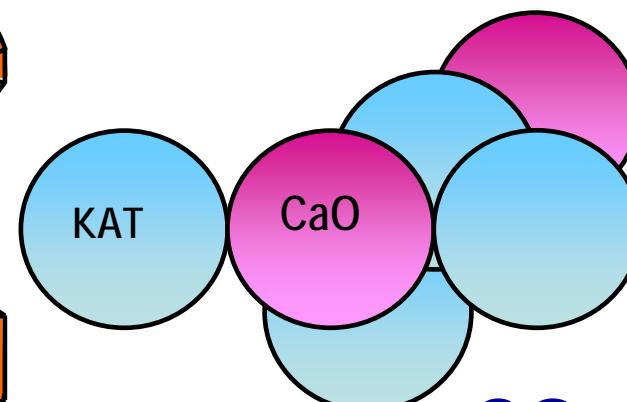
## GARAPEN-FASEKO METODOAK

Garapen-fasean

### ABSORTZIO OHANTZEDUN ERREAKTOREETAN ERREFORMATUA



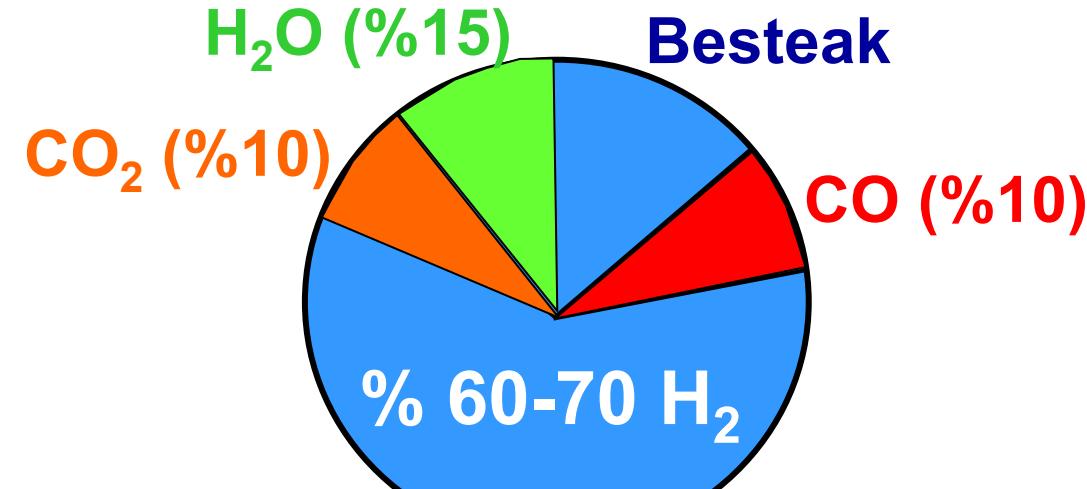
Oreka desplazatzen du  
Ohantza birsortu egin behar da



Chem Eng Sci 58 (2003) 3425-3437

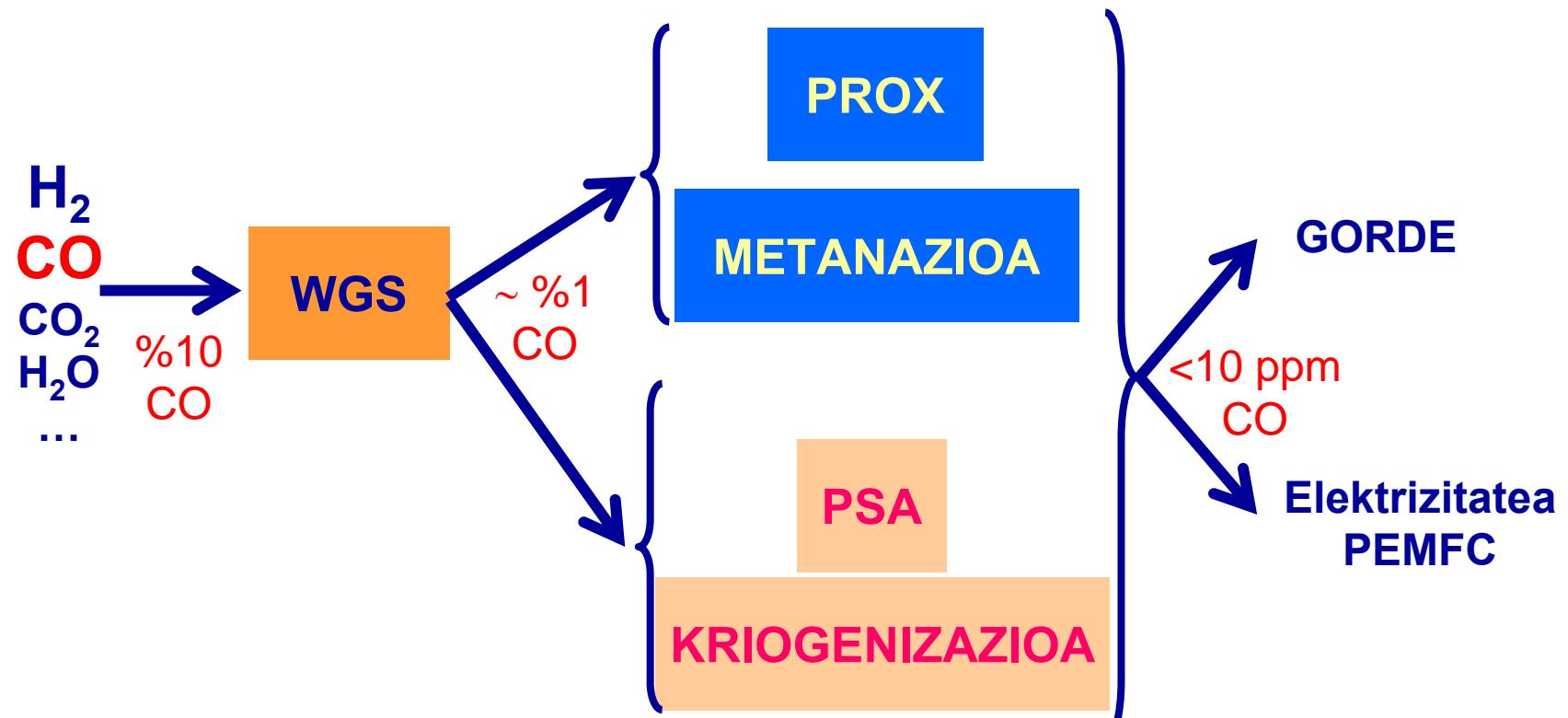


# 2.EKOIZPENA *FINTZEA*





## METODOAK



SARRERA

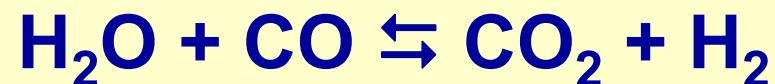
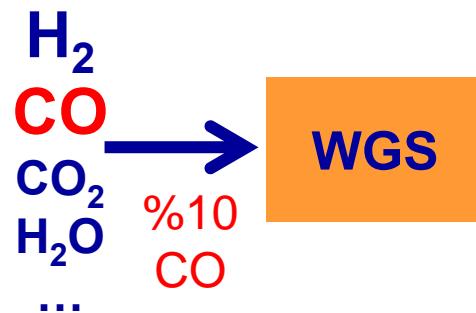
EKOIZPENA

METAKETA

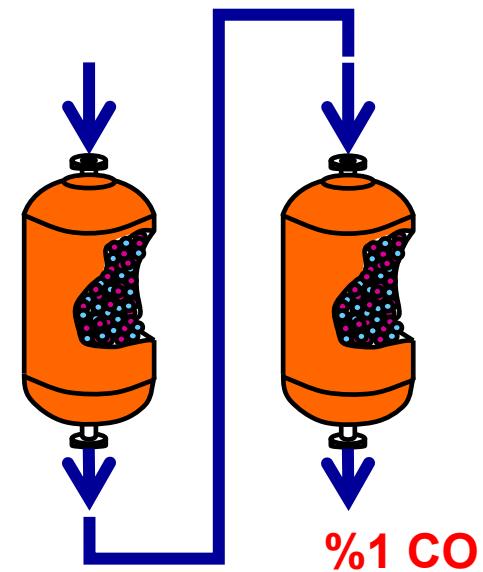
ENERGIA-REN  
LORPENA



## METODOAK



1. ETAPA Fe-Cr katalizatzaileak
2. ETAPA Cu-Zn katalizatzaileak



SARRERA

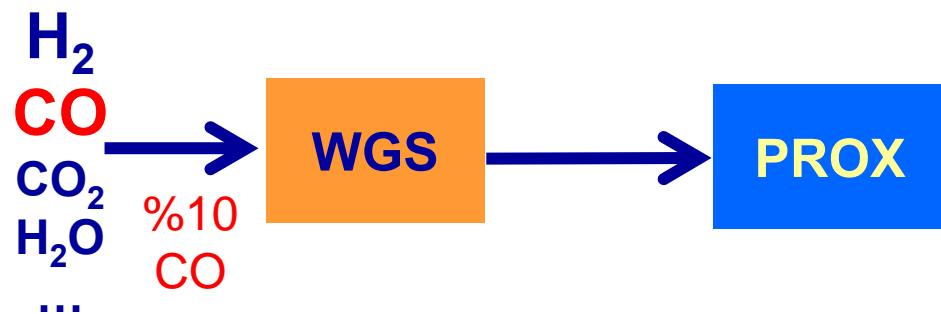
EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## METODOAK



### KATALIZATZAILEAK

$CuO-CeO_2$   
 $Au/Fe_2O_3$

< 10 ppm CO



SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



# 3. METAKETA



## HIDROGENOAREN METAKETA

Elektrizitatea ez bezala, hidrogenoa metagarria da.

- Nahi denean, erabili eta nahi ez denean, gorde.

SARRERA

EKOIZPENA

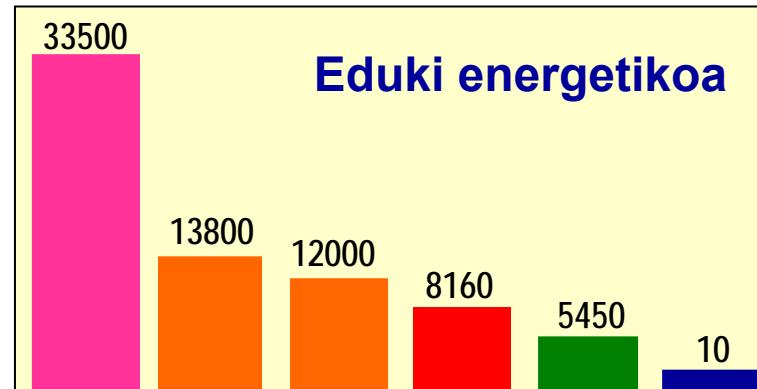
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## H<sub>2</sub>-ren ABANTAILAK/DESABANTAILAK

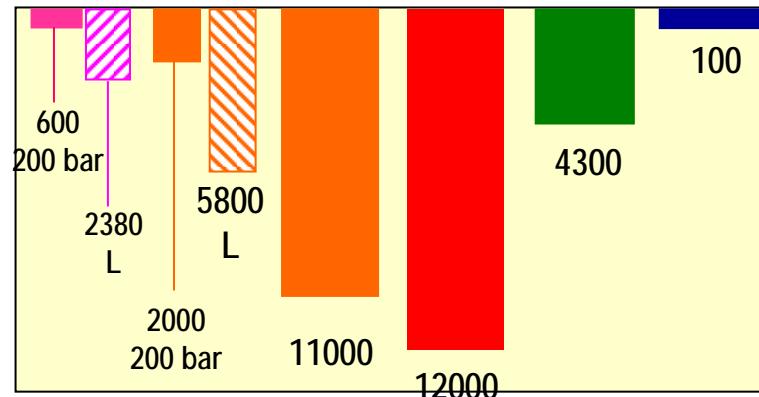
kWh/Tn



H<sub>2</sub> GN gasolina ikatza metanola Pilak

### Bolumen unitateko energia dentsitate baxua

kWh/m<sup>3</sup>

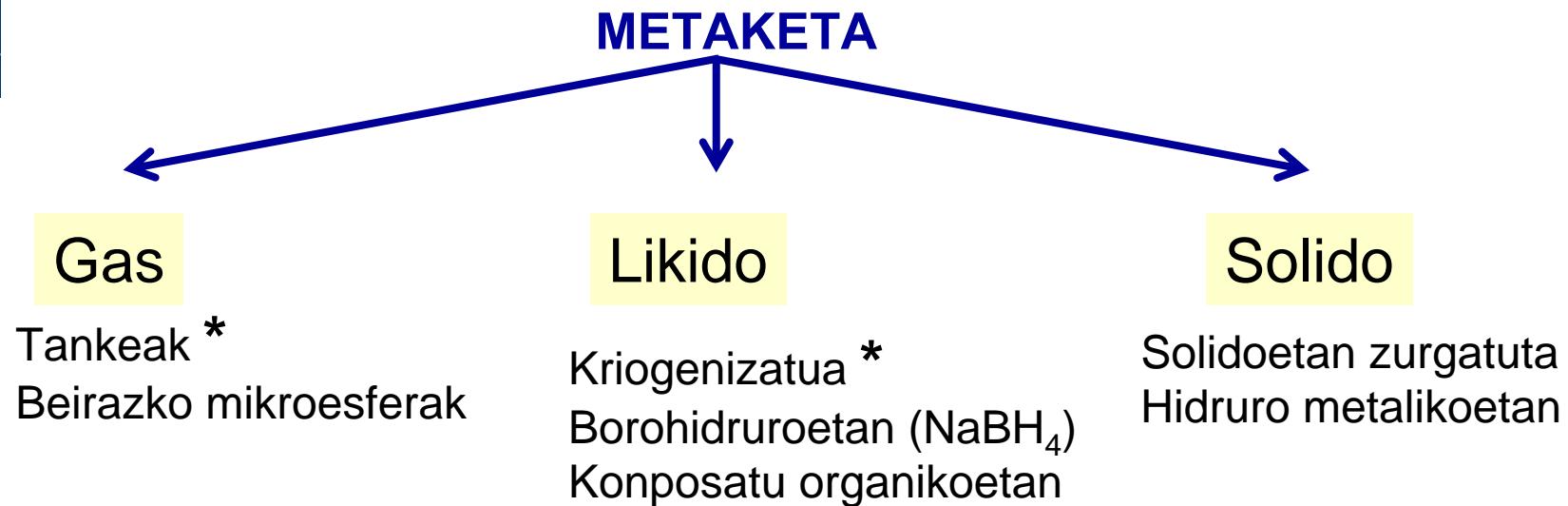


SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



\* Teknologia guztiz garatua

SARRERA

EKOIZPENA

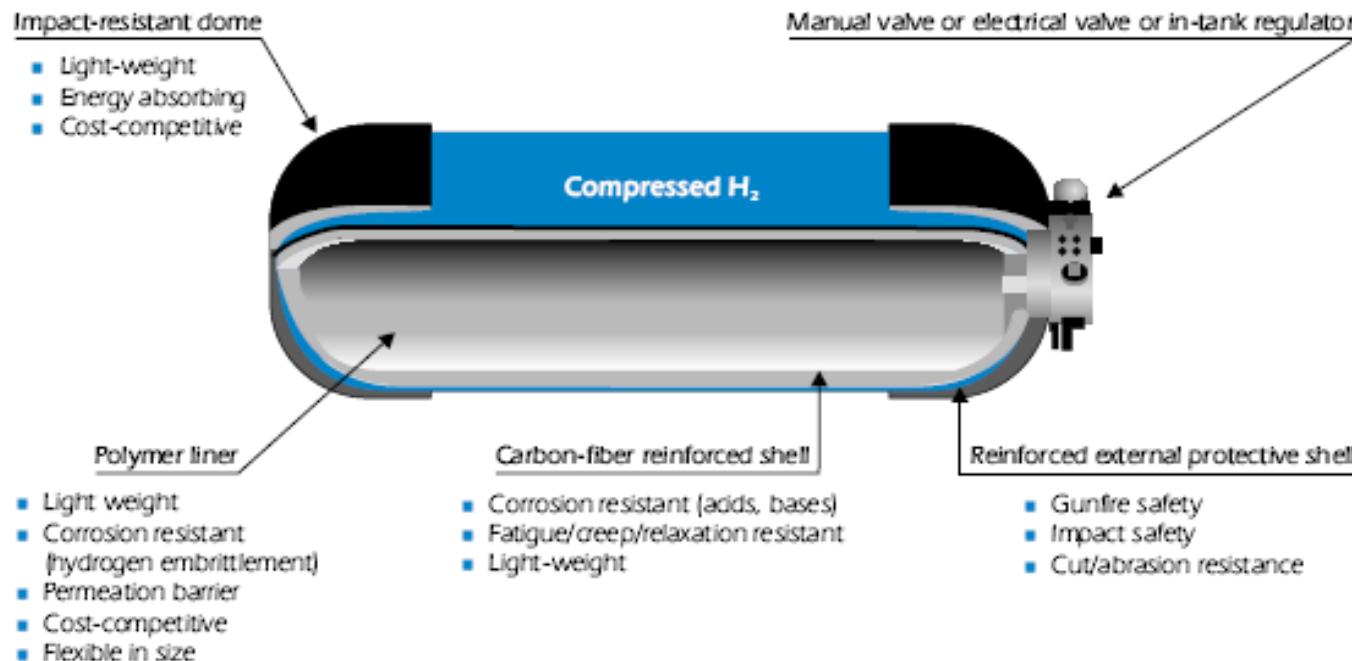
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



**Gas Tankeak**

400-700 atm, inguru tenperaturan  
 Polimeroa/karbono zuntza  
 Konpresio kostu handiak (energia-edukiaren %8a)  
 <36 kg/m<sup>3</sup>



*Hidrogeno gordailua*

SARRERA

EKOIZPENA

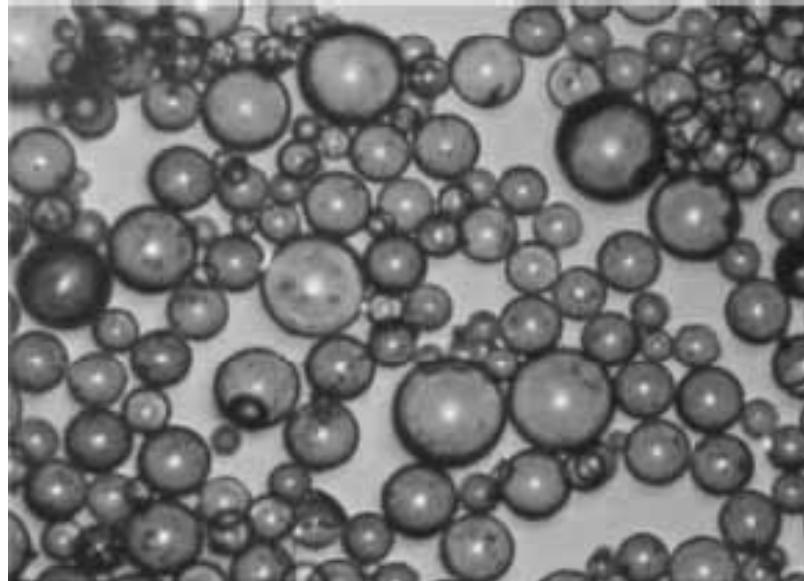
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## Gas

### Beirazko mikrosfera hutsak



- Permeazioz, 350-700 atm eta 300°C betetzen dira.
- Inguru T eta P gordetzen dute.
- 300°C-ra berotuaz H<sub>2</sub> husten du.

*Hidrogenoaren metaketa beirazko mikrosferetan*

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

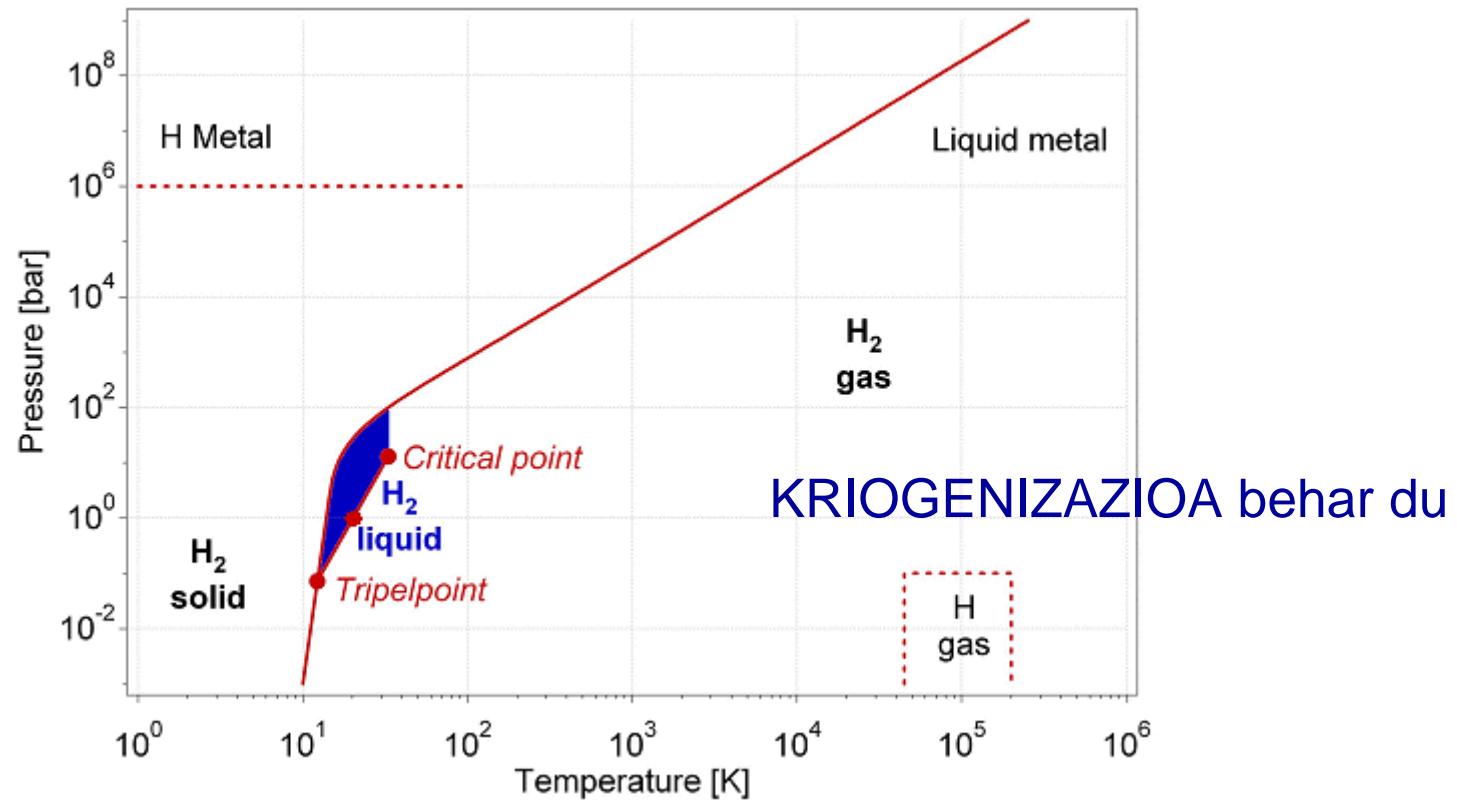
ENERGIA-REN  
LORPENA

Dentsitate baxua.  
Bero-trukea behar du (hoztu/berotu).  
Mikrosferak hausten dira.

***IEA-Hydrogen production and storage (2006)***



### Hidrogeno Likidoa



*Hidrogenoaren fase-diagrama*

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

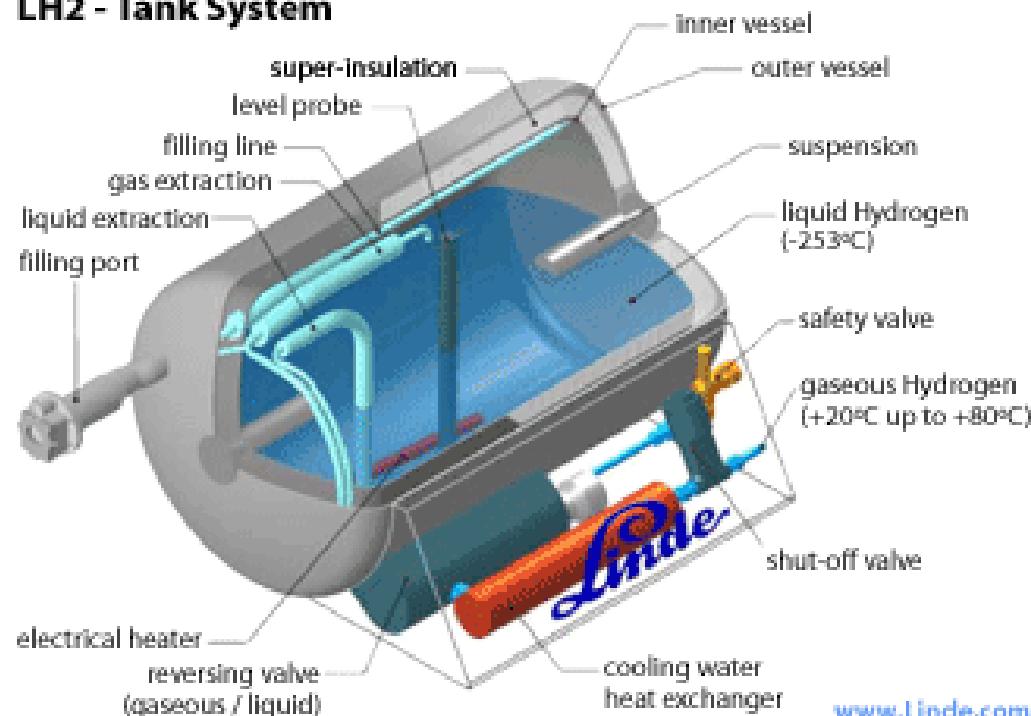


## Likidoa

# Kriogenizatua

Dentsitatea  $70,8 \text{ kg/m}^3$  ( $-253^\circ\text{C}$ , 1 atm)  
Kriogenizazioan kostu energetiko handia  
(% 30-40)  
Isolamendu beharra.

**LH<sub>2</sub> - Tank System**



[www.Linde.com](http://www.Linde.com)

*Hidrogeno likidoa gordetzeko tanke kriogenizatua*

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

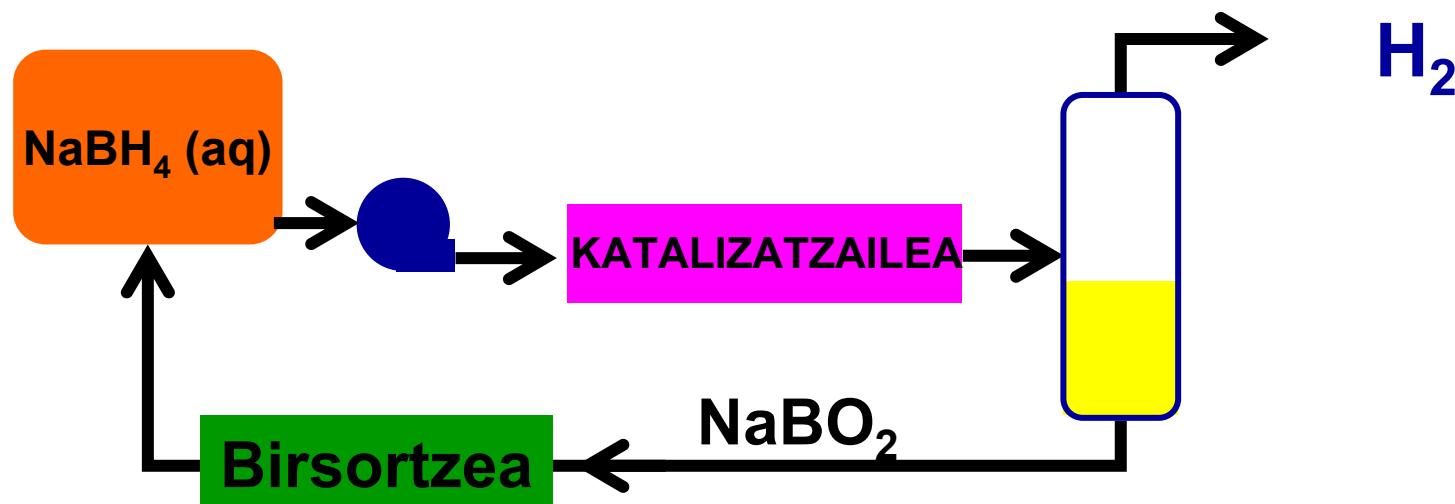
ENERGIA-REN  
LORPENA



## Likidoa

### Borohidruroak ( $\text{NaBH}_4$ , $\text{LiBH}_4$ )

Katal. Ru



SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

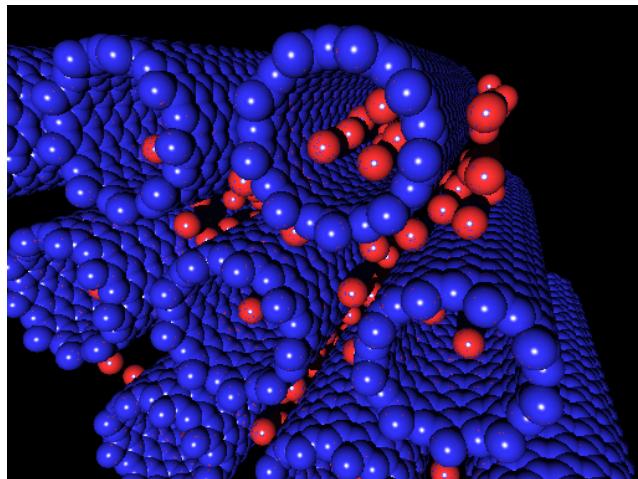
Dentsitatea < % 15  $\text{H}_2$  (masa eran)  
Garestia (62 €/kg)

Vacuum 80 (2006) 1084  
US Patent 6534033



Solidoa

## Solido adsorbatzaileak



Ikatz aktibatua  
C nano hodiak  
Grafitoa

< 5% H<sub>2</sub>

Tenperatura baxuak behar ditu gordetzeko  
Tenperatura altuak behar ditu emateko

*H<sub>2</sub> metaketa C-zko nano hodietan*

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

*IEA-Hydrogen production and storage (2006)*



Solidoa

## Hidruro metalikoak



% 5,5 H<sub>2</sub>

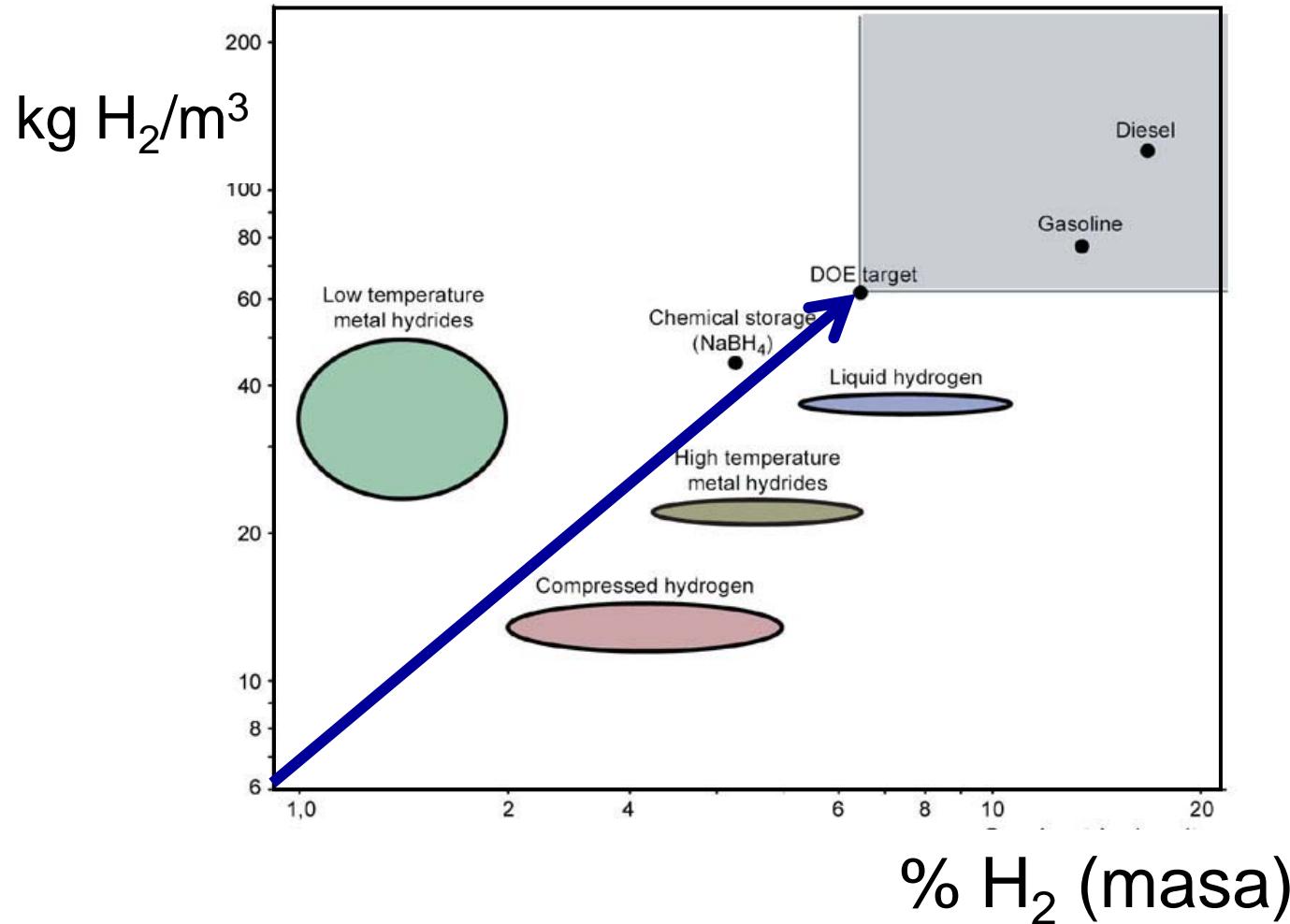
Birsortu egin behar da

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



SARRERA

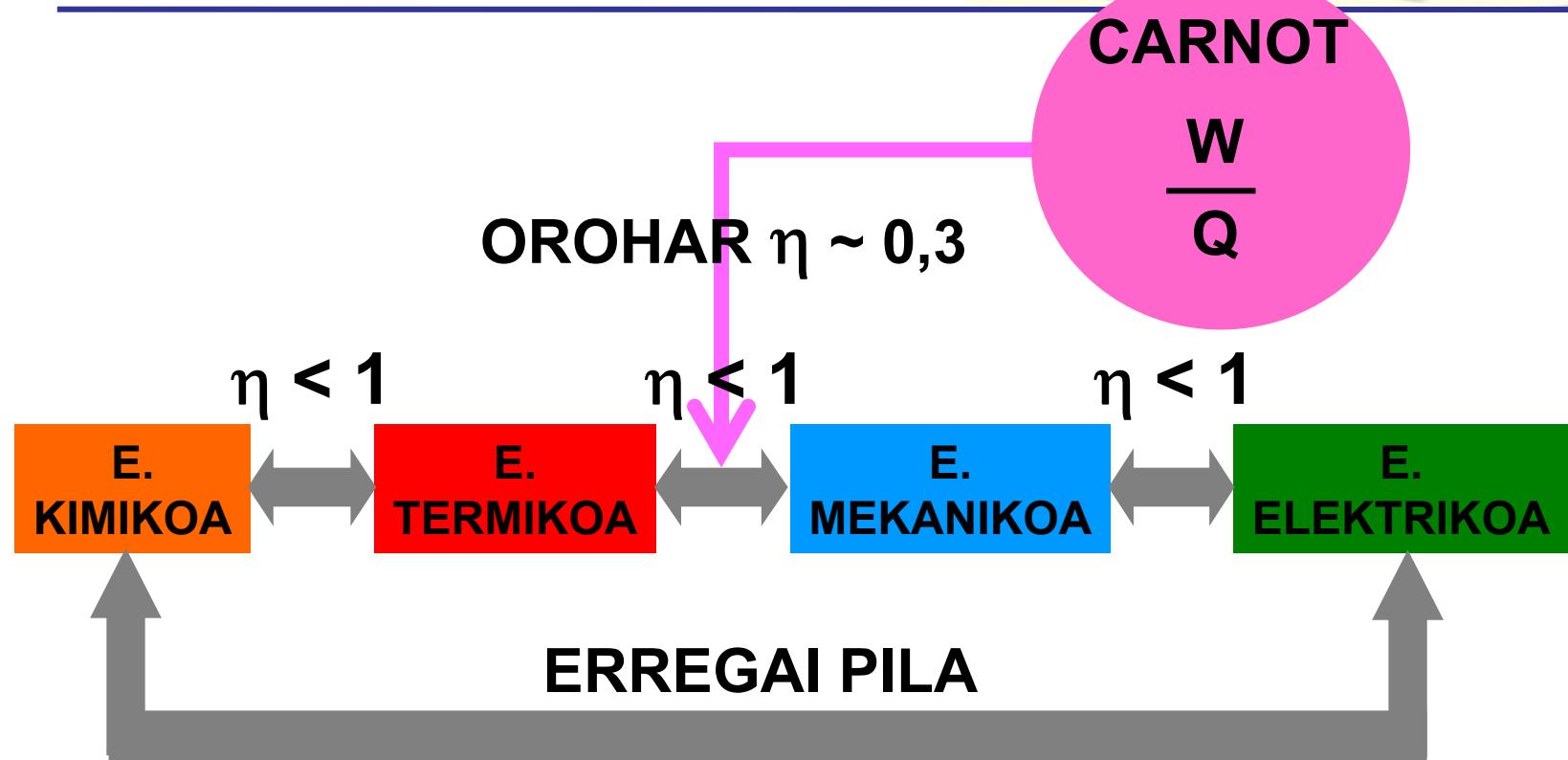
EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



# 4. ERABILERA



$$\eta = \frac{\Delta G}{\Delta H} \sim 0,6$$

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



- BARNE-ERREKUNTZA**
- FUSIOA (ITER)**
- ERREGAI PILA**

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## □ BARNE-ERREKUNTZA



*Discovery*

SARRERA

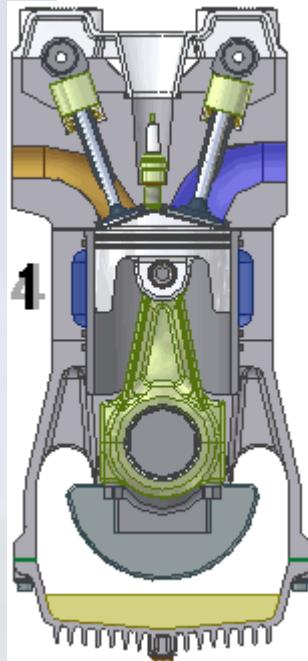
EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## □ BARNE-ERREKUNTZAKO MOTOREAK



BMW  
Ford



CO<sub>2</sub> igorpenik ez  
NO<sub>x</sub> igortzen du

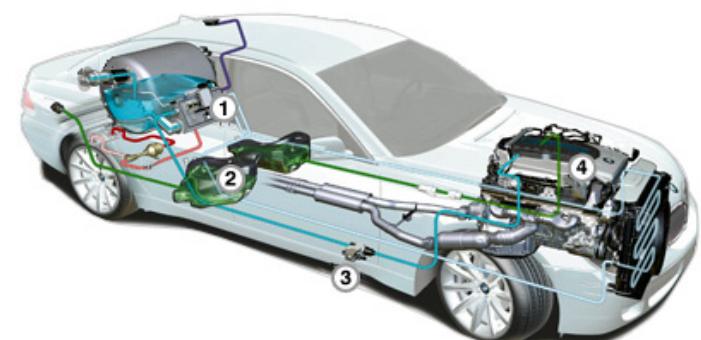
SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

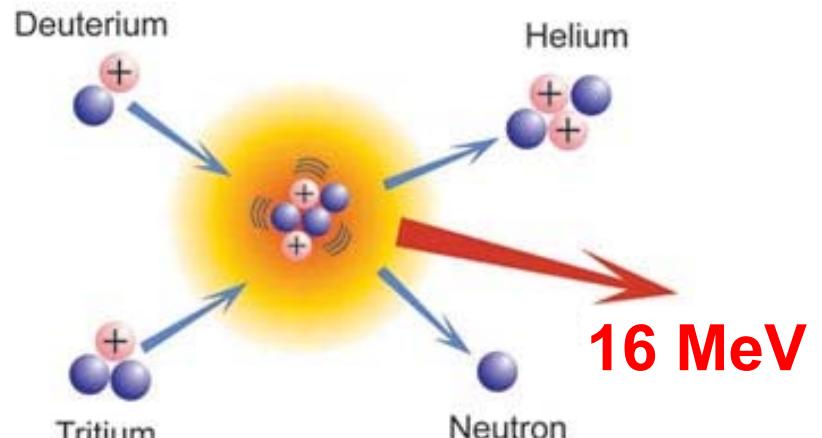
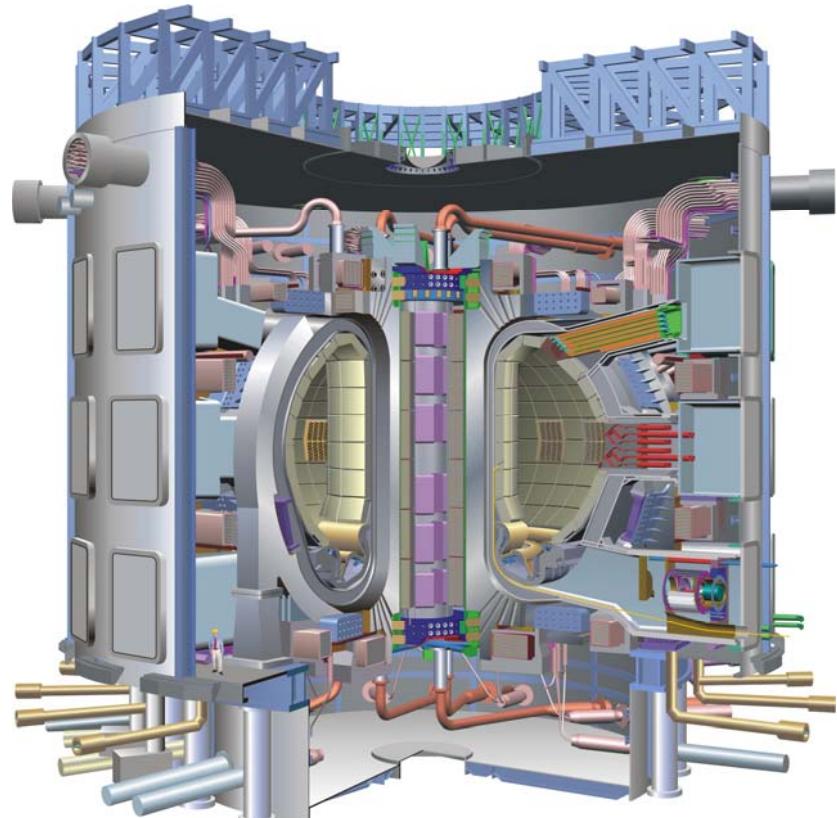
ENERGIA-REN  
LORPENA

Gasolina/gasoila baino  
eraginkorragoak





## □ FUSIOA (ITER)



$$0,5 \text{ g } ^2\text{H}/^3\text{H} \xrightarrow[\text{plasma}]{100 \cdot 10^6 \text{ K}} 500 \text{ MW}$$

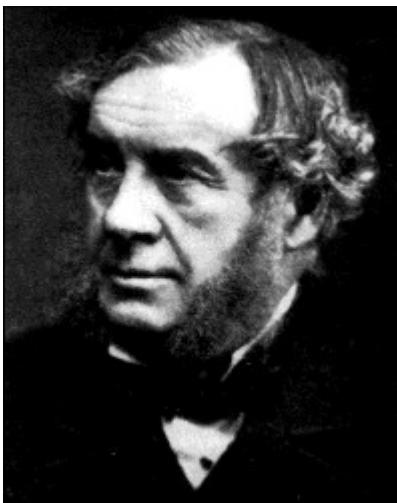
SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

$^2\text{H}$ : naturan aurki daiteke  $30 \text{ g } ^2\text{H}/\text{m}^3$  ur  
 $^3\text{H}$ : “ekoiztu” egin behar da Li-tik abiatuz



*Sir William Grove (1811–1896)*

SARRERA

EKOIZPENA

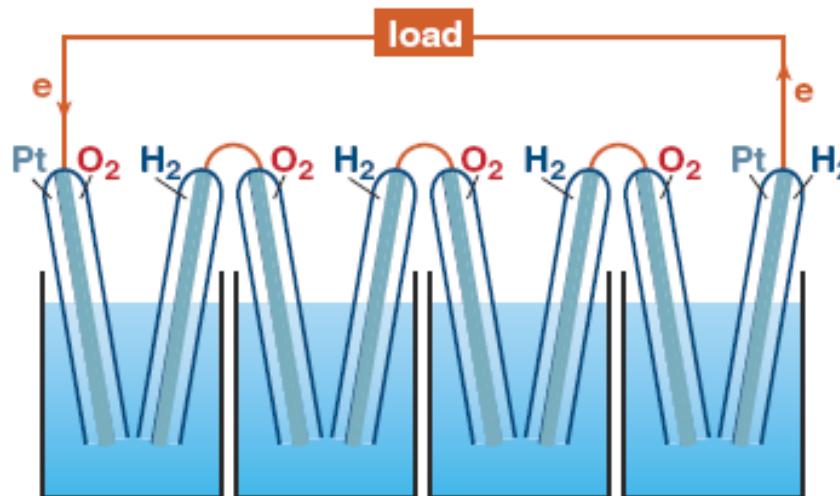
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

## □ ERREGAI PILA (PEMFC)

1839

Uraren aurkako elektrolisia burutzen du  
elektrizitatea sortuaz



$$E^0 = 1,23 \text{ V}$$



**Anodoa:**  $\text{H}_2$  disoziazio erreza

**Katodoa:**  $\text{O}_2$  disoziazio zaila: Boltaia-galera

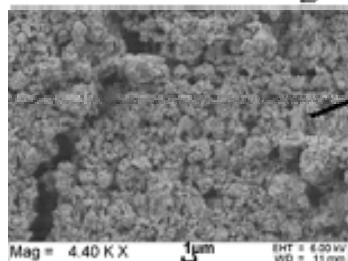
### Katalizatzailea: Pt

Garapen-fasean:

Pt-Sn, Pt-Ru, Pt/C

**RuPt**

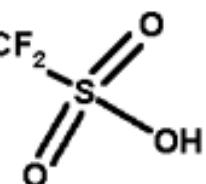
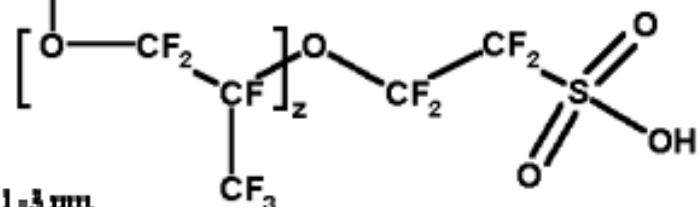
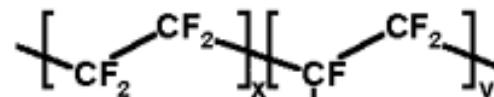
XRD crystallite size ~ 3 nm  
Surface area ~ 60 m<sup>2</sup>/g



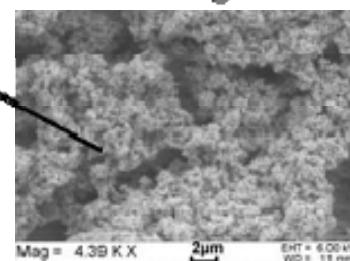
~ 10 μm thick  
10nm-1μm pores

MINTZA

### Mintza: Nafion™



XRD crystallite size ~ 1-3 nm.  
Surface area ~ 30 m<sup>2</sup>/g

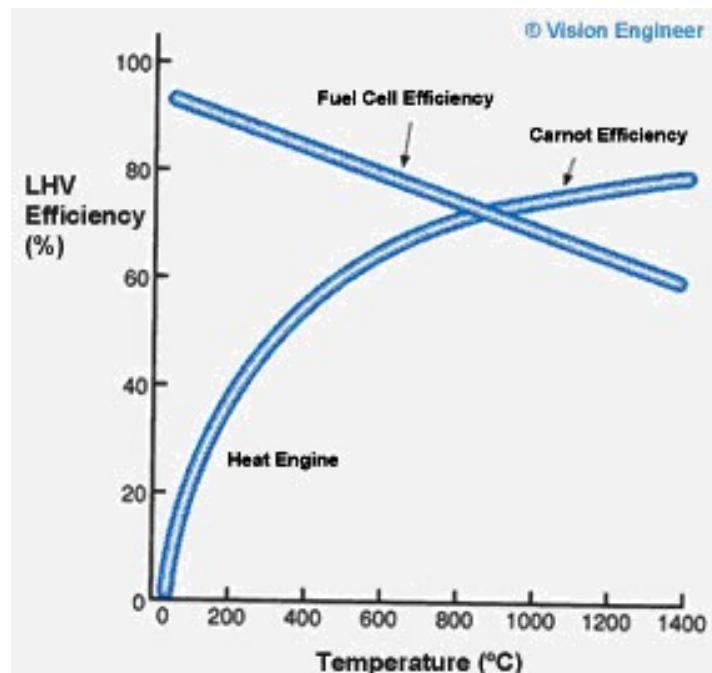


~ 10 μm thick  
10nm-1μm pores



## PEM: hobetu beharrekoak

Pt elektrodoak pozoindu ( $\text{CO} < 20 \text{ ppm}$ )  
Katodoan boltaia-galerak

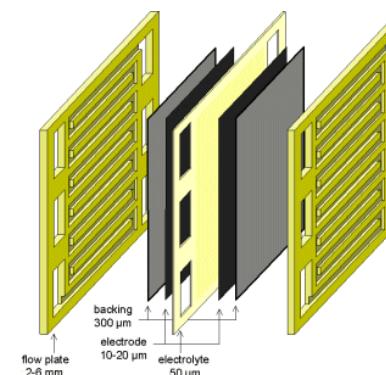


Eraginkortasun termiko teorikoa

## PEM: abantailak

Energia/bolumen oso handia  
Korronte-dentsitate handia  
Operazio tenperatura baxua ( $80-100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
Igorpenik ez

Eraginkortasuna = % 55-65  
Boltaia = 0,8 V/gelaxka





Eraginkortasuna (%)

70  
50  
30  
10

1

10

100

1000

10000

Potentzia (kW)

ERREGAI PILA

DIESEL

GASOLINA

GAS-LURRUN  
TURBINAK



## EKOIZPENA & ERABILERA

### ZENTRALIZATUA



SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## EKOIZPENA & ERABILERA

- ZENTRALIZATUA
- LEKUAN-LEKUKOA (etxebizitzen hornidura)



SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



## EKOIZPENA & ERABILERA

- ZENTRALIZATUA**
- LEKUAN-LEKUKOA (etxebizitzen hornidura)**
- ON-BOARD (automobilak)**

SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



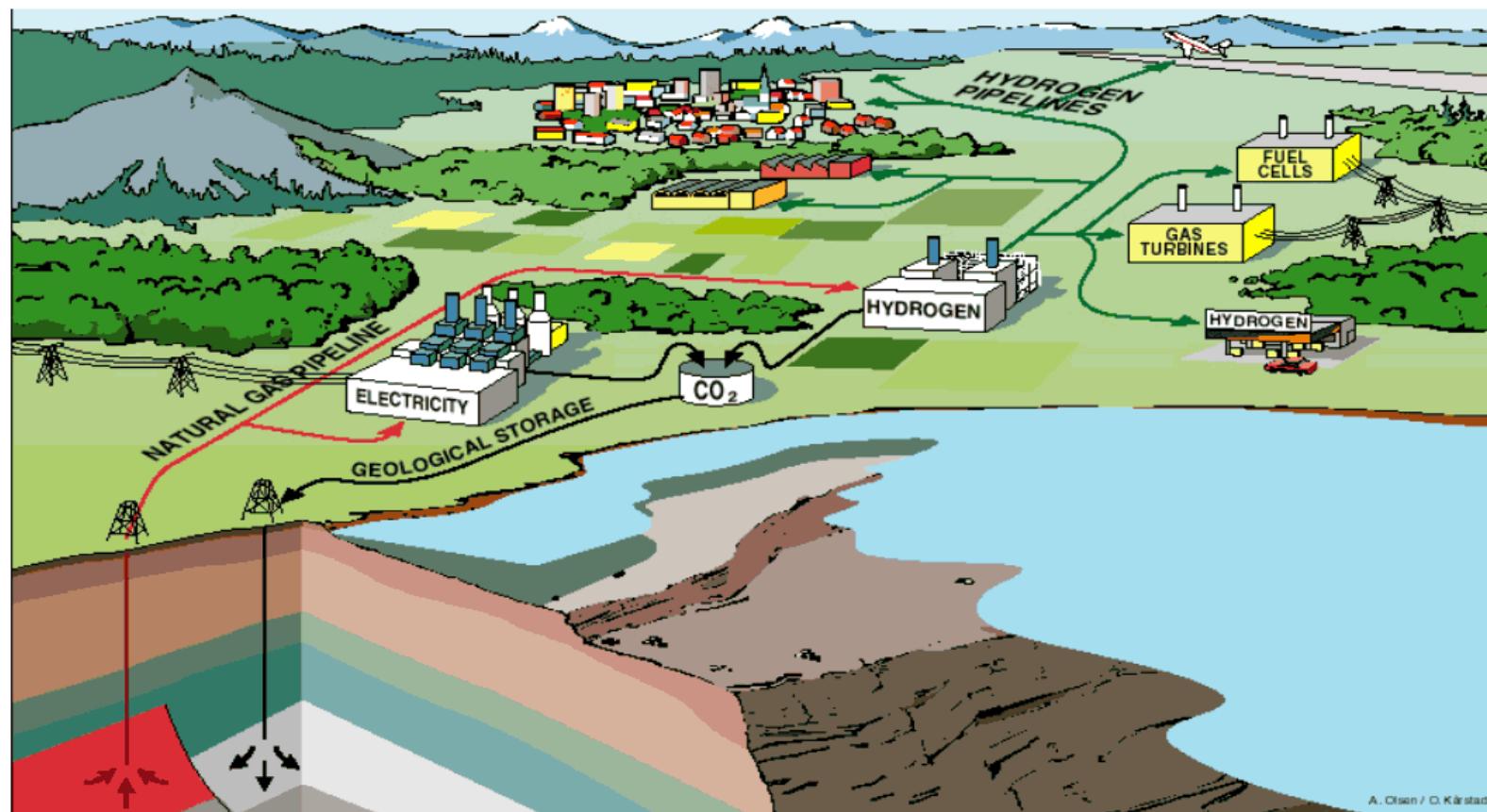
### ZENTRALIZATUA

> 750000 kg/egun (> 1 GW)

Kostu baxuak (**eskala ekonomia**)

Gasifikazioa (IGCC), Erreformatua

CO<sub>2</sub>-ren bahitze eta ibilgetzea





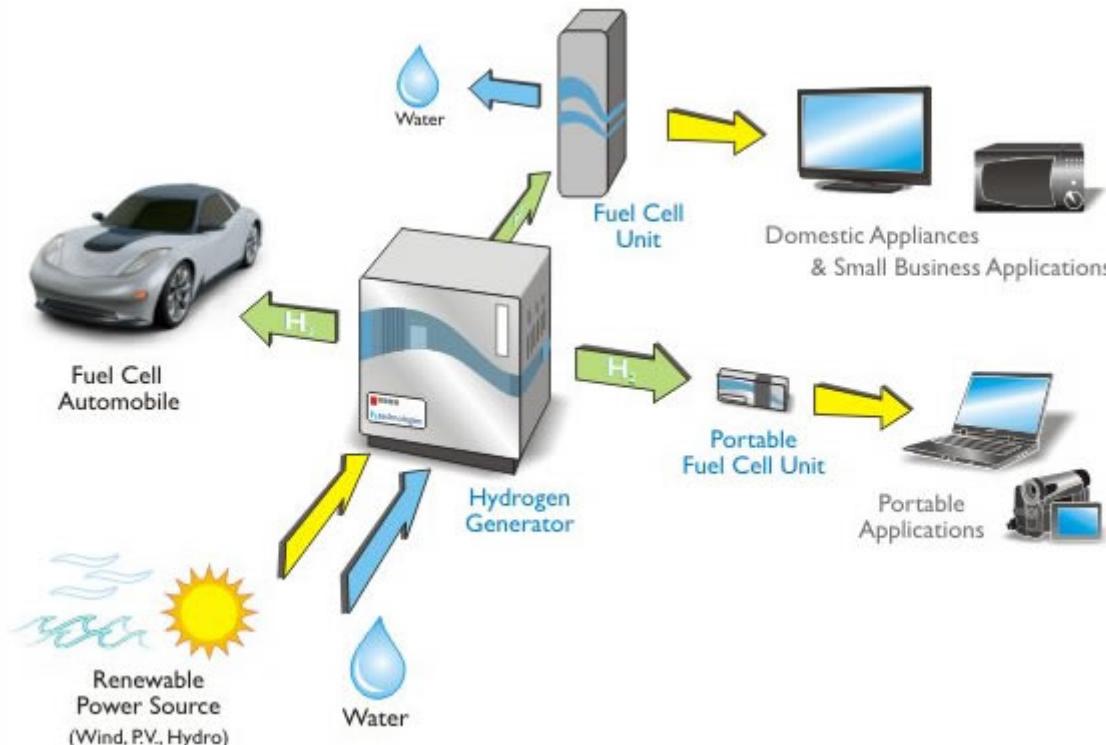
## LEKUAN-LEKUKOA

Etxebitzitza sorta txikien hornidura

< 30 MW

Ez du garraiorik behar

Elektrolisia, erreformatu txikia



SARRERA

EKOIZPENA

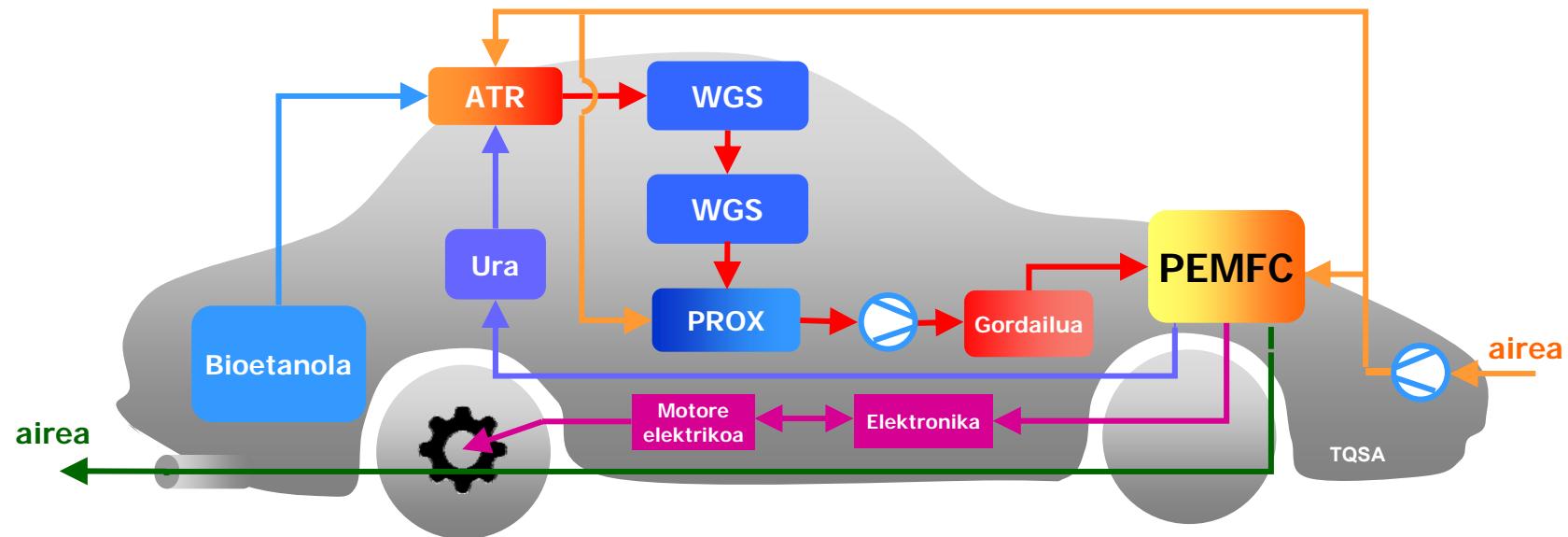
METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



### ON-BOARD

Autoak, bateriak



SARRERA

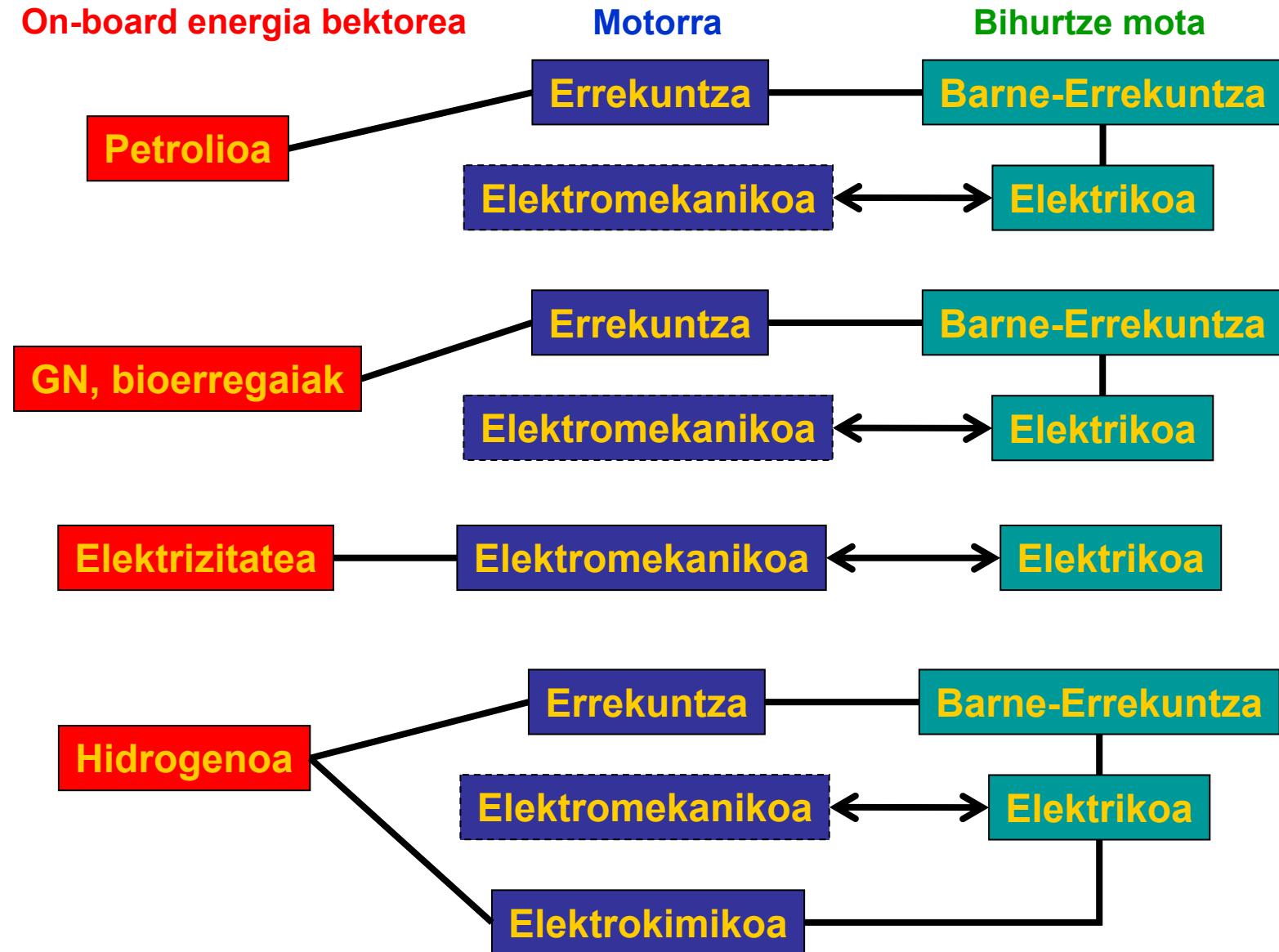
EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



On-board energia bektorea





4000 K.A.



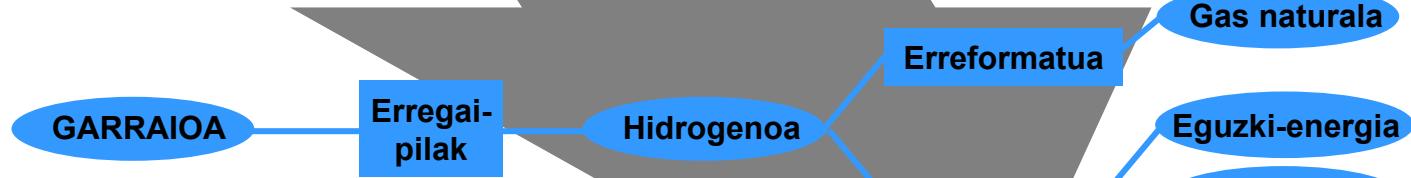
XIX. mendea



XX. mendea



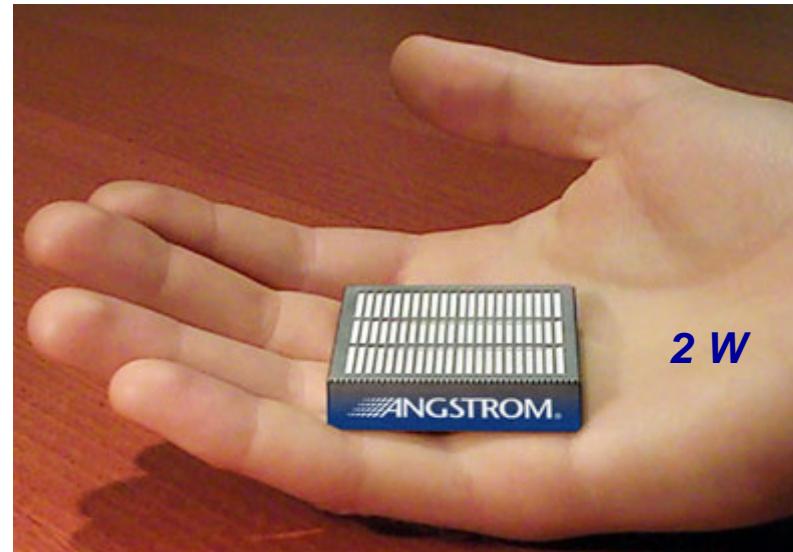
XXI. mendea



DENBORA



### Bateriak



SARRERA

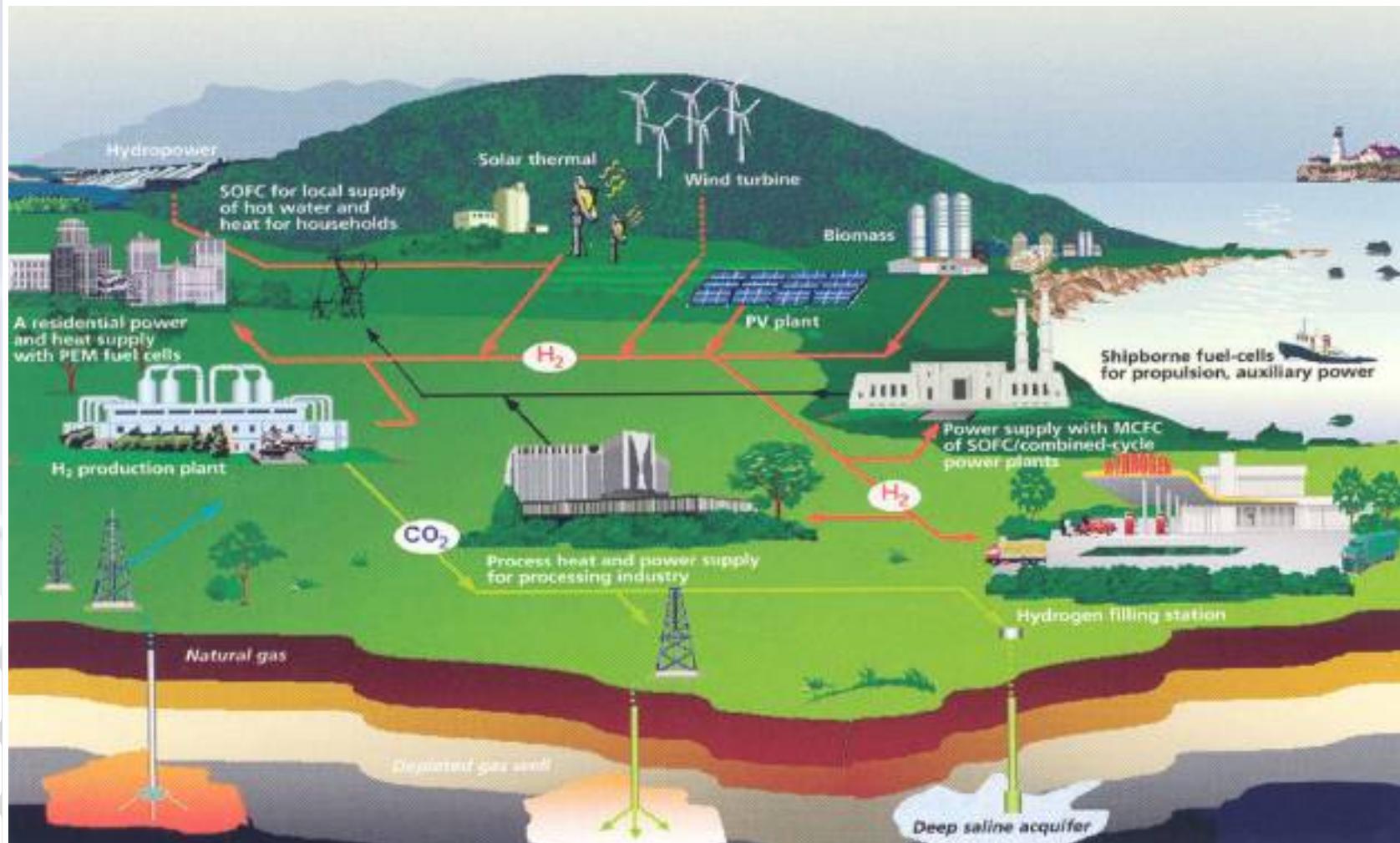
EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA



# ETORKIZUN JASANGARRIA



SARRERA

EKOIZPENA

METAKETA

ENERGIA-REN  
LORPENA

European Commission



## Sarrera eta Orokortasunak

Ente Vasco de la Energía: <http://www.eve.es>  
International Energy Agence: <http://www.iea.org>  
World Resources Institute: <http://www.wri.org/>  
Center for Climate System Research: <http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/ehtml/eccsr.shtml>  
US Department of Energy: <http://www.energy.gov>  
Ikerkuntzarako europar komisioa: <http://ec.europa.eu/research>  
US Energy Information Administration: <http://www.eia.doe.gov/>

## Hidrogenoaren ekoizpena

Miller eta lank. cols. Energy 30 (2005) 2690-2702  
Kroposki eta lank. Informe NREL/TP-582-40605 (2006)  
Utgikar eta lank. Int J Hydrogen Energy 31 (2006) 939-944  
Kasahara eta lank. Int J Hydrogen Energy 32 (2007) 489-496  
Vitart eta lank. Energy Conversion & Management 47 (2006) 2740  
Goldstein eta lank. Int J Hydrogen Energy 30 (2005) 619  
Steinfeld eta lank. Solar Energy 78 (2005) 603-615  
Abanades eta lank. Solar Energy 80 (2006) 16611  
Charvin eta lank. Energy 32 (2007) 1124  
Kim eta lank. Int J Hydrogen Energy 31 (2006) 1585-1590  
Kosourov eta lank. Photosynth Res 85 (2005) 295  
Kumabe eta lank. Fuel 86 (2007) 684-689  
Sadaka eta lank. Biomass and Bioenergy 22 (2002) 463  
Collot eta lank. Int J Coal Geol 65 (2006) 191-212  
Trawczynski eta lank. Appl Catal A:Gen 197 (2000) 289-293  
Pistonesi eta lank. Appl Surf Sci (2007) 4427-4437  
Quiceno eta lank. Appl Catl A:Gen 303 (2006) 166-176  
Hoang eta lank. J Power Sources 159 (2006) 1248-1257  
Lattin eta lank. Int J Hydrogen Energy 32 (2007) 3230  
Barroso eta lank. Appl Catal A:Gen 304 (2006) 116-123  
Fernandes eta lank. Fuel 85 (2006) 569-573  
Chen eta lank. Int J Hydrogen Energy 32 (2007) 2359  
Xiu eta lank. Chem Eng Sci 58 (2003) 3425-3437  
Johnsen eta lank. Chem Eng Sci 61 (2006) 1195  
Guo eta lank. Fuel Processing Technology 88 (2007) 451-459  
Rostrup-Nielsen eta lank. Cattech 6 (2002) 150-159  
National Renewable Energy Laboratory: <http://www.nrel.gov/hydrogen/>

## Purifikazioa

Rhodes eta lank. Catal Comm 3 (2002) 381-384  
Ayastuy eta lank. Ind Eng Chem Res 44 (2005) 41  
Tabakova eta lank. App catal A:Gen 298 (2006) 127-143  
Marigliano eta lank. Chem Engng Proc 42 (2003) 231-236  
Lu eta lank. Journal of Colloid and Interface Science 314 (2007) 589  
Ayastuy eta lank. Catal Today 116 (2006) 391-399  
Ayastuy eta lank. Appl Catal B:Environ 70 (2007) 532-541  
Bligaard eta lank. J Catal 224 (2004) 206-217  
Kearns eta lank. Chem Eng Sci 70 (2006) 7223  
Producción y purificación de hidrógeno a partir de bioetanol y su aplicación en pilas de combustible. Laborde eta lank. (editorea) ISBN: 987-05-1795-1 (2006)  
JN Armor. Applied Catalysis A: General 176 (1999) 159-176

## Metaketa

Schlappbach eta lank. Nature 414 (2001) 353-358  
Catal Today (2007) 120(3-4), 246-256  
International Energy Agence: <http://www.iea.org>  
Schmitt eta lank. Journal of Non-Crystalline Solids 352 (2006) 626  
Ross eta lank. Vacuum 80 (2006) 1084  
US Patent 6534033  
Service eta lank. Science 305 (2004) 960  
Satyapal eta lank. Catalysis Today 120 (2007) 246-256

## Erabilera

Proyecto ITER: <http://www.iter.org>  
Markovic eta lank. Cattech 4 (2000) 110-126  
Mauritz eta lank. Chem. Rev. 2004, 104, 4535-4585  
Holladay eta lank. Chem. Rev. 2004, 104, 4767-4790  
Meland eta lank. Journal of Electroanalytical Chemistry 610 (2007) 171  
Wee eta lank. Journal of Power Sources 157 (2006) 128-135

## Logistika

HyFLEET:CUTE proiektua: <http://www.global-hydrogen-bus-platform.com/Home>  
<http://www.fuelcells.org/>  
McDowall eta lank. Energy Policy 34 (2006) 1236-1250  
Midilli eta lank. International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 511 – 524