

# Hacia un transporte sin emisiones de CO<sub>2</sub>

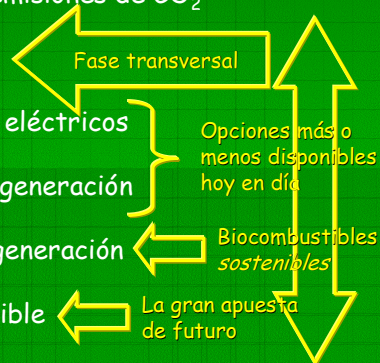


Gregorio Marbán  
Instituto Nacional del Carbón  
(CSIC)  
Fronteras de la Energía  
Benasque  
8 de Julio de 2009



## Contenidos de la charla

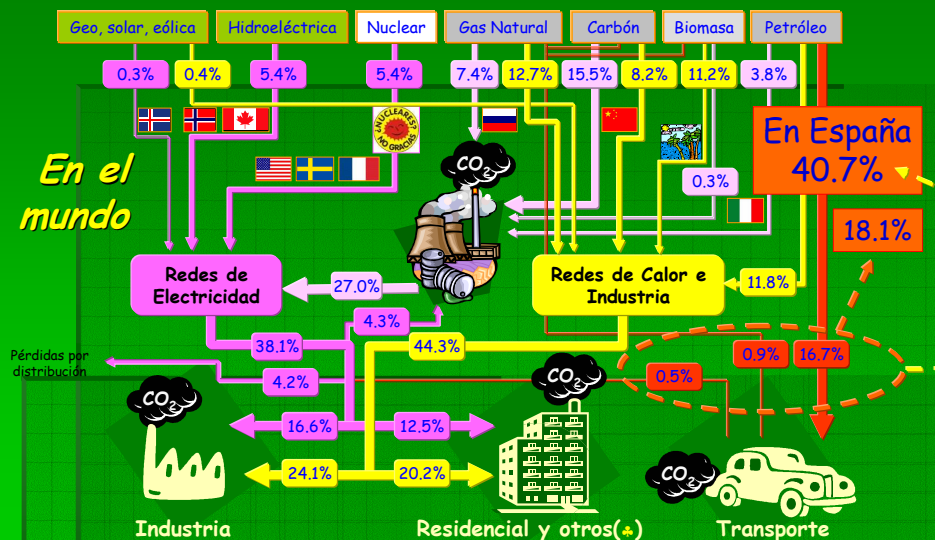
- Contribución del transporte al consumo energético nacional y mundial
- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Fase 0. Control sobre la demanda
- Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b. Biocombustibles de primera generación
- Fase 2. Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible



# Contenidos de la charla

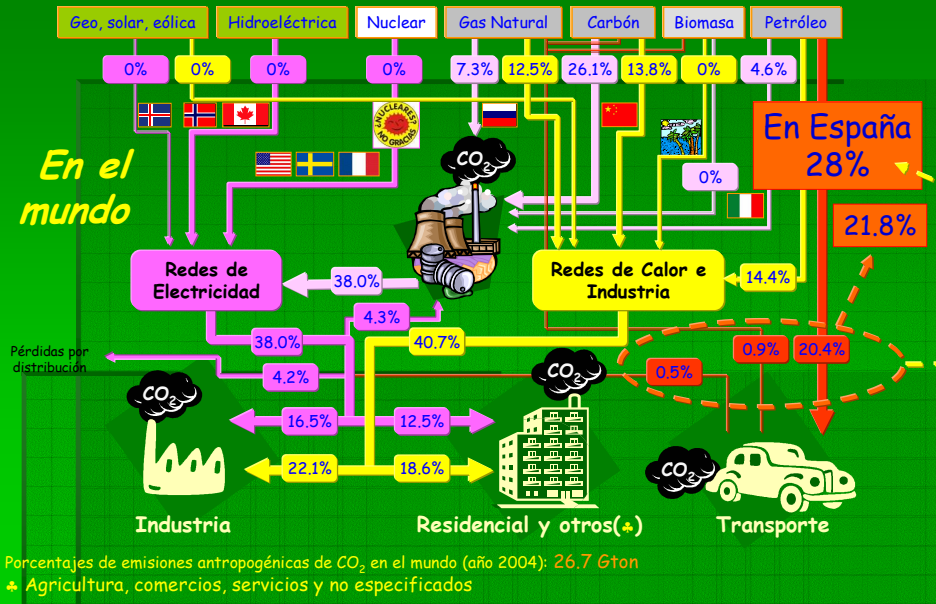
- Contribución del transporte al consumo energético nacional y mundial
- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Fase 0: Control sobre la demanda
- Fase 1a: Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b: Biocombustibles de primera generación
- Fase 2: Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3: Hidrógeno y pilas de combustible

# Pastel de la energía en el mundo



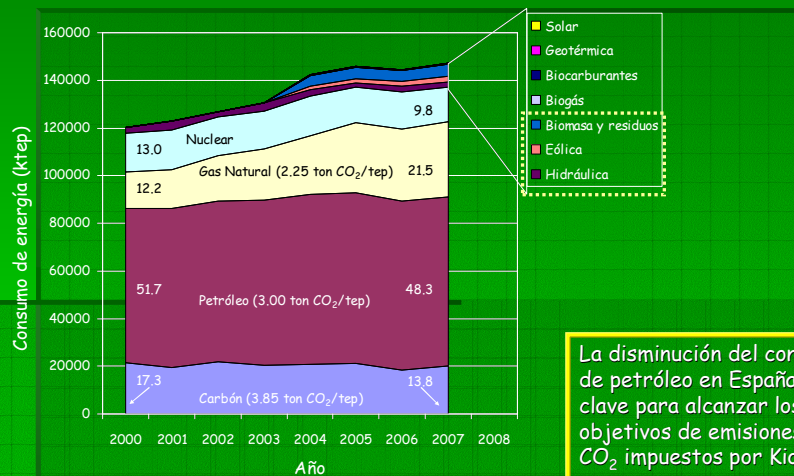
Porcentajes de Energía Primaria Mundial (año 2004): 11.7 Gtoe = 145000 TWh = 496 Quad (10<sup>15</sup> BTU)  
 + Agricultura, comercios, servicios y no especificados

# Emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo



# Panorama energético español

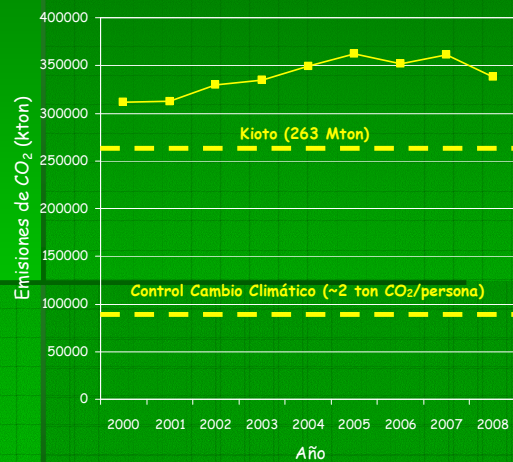
## Petróleo y CO<sub>2</sub> en España



La disminución del consumo de petróleo en España es la clave para alcanzar los objetivos de emisiones de CO<sub>2</sub> impuestos por Kioto

# Panorama energético español

## Petróleo y CO<sub>2</sub> en España



Reducción de emisiones en el Transporte por carretera


gCO <sub>2</sub> /km	Viajeros	Mercancías
Actual	162	175
Kioto	120	130
Control C.C. (año 2050)	40	43

La disminución del consumo de petróleo en España es la clave para alcanzar los objetivos de emisiones de CO<sub>2</sub> impuestos por Kioto

## Contenidos de la charla

- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Fase 0. Control sobre la demanda
- Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b. Biocombustibles de primera generación
- Fase 2. Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

## Premisas para avanzar hacia un transporte sin CO<sub>2</sub>

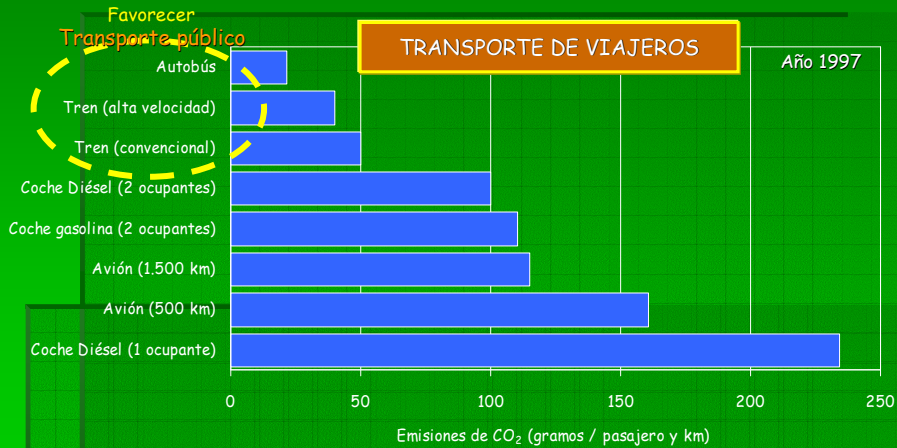
- Dado el crecimiento imparable del sector transporte, las medidas a tomar han de tener carácter inmediato
- Las medidas a adoptar no pueden resolver el problema "aquí" generando otro problema "allí". Las nuevas tecnologías deben traer aparejados estándares de sostenibilidad
- Priorizar medidas de eficiencia
- Priorizar tecnologías que puedan hacer uso de las infraestructuras actuales 
- Promover la transición entre tecnologías en lugar de introducir cambios radicales

## Contenidos de la charla

- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Fase 0. Control sobre la demanda
- Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b. Biocombustibles de primera generación
- Fase 2. Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

# Fase 0. Control sobre la demanda

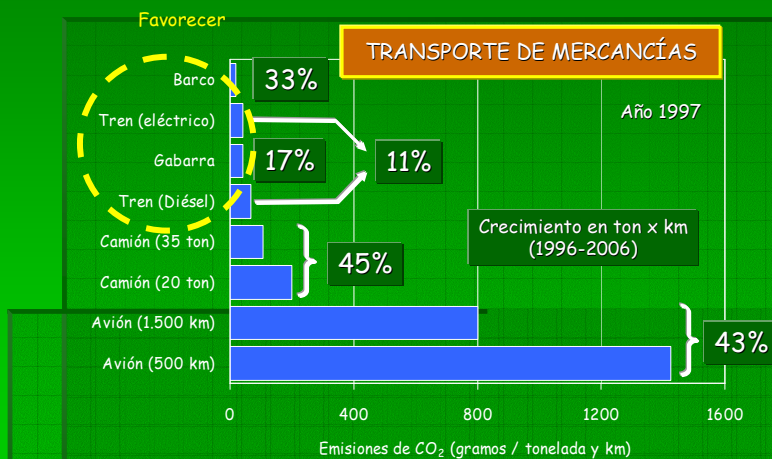
## MEDIOS *¿Sobre qué medios actuamos?*



Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, pp. 293-308

# Fase 0. Control sobre la demanda

## MEDIOS *¿Sobre qué medios actuamos?*



Transport at a crossroads. EEA Report. No. 3 / 2009

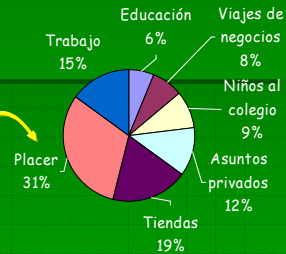
Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, pp. 293-308

# Fase 0. Control sobre la demanda

## MODOS

Hay que tener claro sobre que modos de transporte se puede actuar. Por ejemplo: es difícil actuar sobre los viajes de placer por su impredecibilidad

Llevar a los niños en transporte público (impidiendo el tráfico privado alrededor de los colegios)  
Incitar a ir menos de tiendas pero comprar más



## DISEÑO DE CIUDADES

Las ciudades que se diseñan para ser amplias y poco densas **CONSUMEN MÁS ENERGÍA EN TRANSPORTE**

Densidad de población (hab./Ha)	Consumo de energía en transporte per capita (MJ/hab.)
25 a 50	20.200
50 a 100	13.700
>100	12.200

## MEDIDAS COERCITIVAS

Tarifas por congestión de tráfico en centros de ciudades populosas (p.ej. Londres; desde 2003, 8 libras al día)

Una subida del 10% en la gasolina produce un aumento del 21% en la demanda de transporte en autobús y un 18% en la de trenes de cercanías

Transport at a crossroads. EEA Report. No. 3 / 2009

# Fase 0. Control sobre la demanda

## COMPARTIR

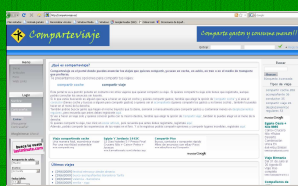
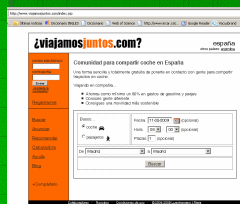
- Compartir el coche es un hecho en muchos países (Suiza: 2% del tráfico)

Con un aumento del 10% en la ocupación de nuestros coches (de 1,2 a 1,3 pasajeros por vehículo), en una ciudad de 250.000 habitantes:

Ahorro de combustible: 8.125 litros  
Reducción emisiones CO<sub>2</sub>: 21,1 toneladas (~10%)  
Liberación espacio urbano (parking): 50.000 m<sup>2</sup>



- [www.compartir.org](http://www.compartir.org), [www.viajamosjuntos.com](http://www.viajamosjuntos.com), [www.comparteviaje.com](http://www.comparteviaje.com), etc.

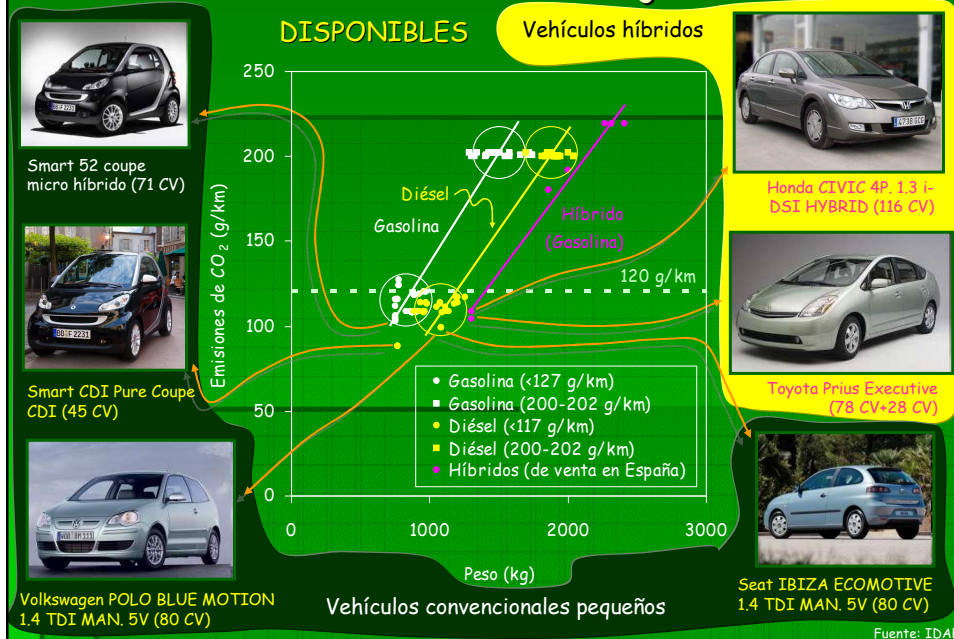


Recomendaciones del Ministerio de Medio Ambiente y del Instituto IDAE (<http://www.compartir.es>)

# Contenidos de la charla

- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Fase 0: Control sobre la demanda
- Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b. Biocombustibles de primera generación
- Fase 2: Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3: Hidrógeno y pilas de combustible

## Fase 1a. Vehículos de bajo consumo

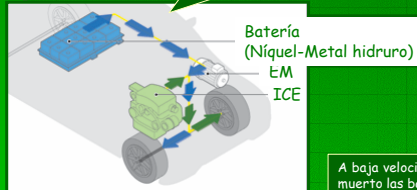




## Fase 1a. Vehículos de bajo consumo

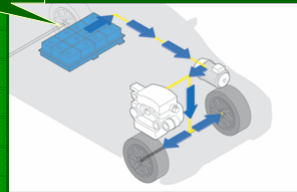
## Vehículos híbridos

El motor de gasolina (ICE) recibe ayuda del motor eléctrico (EM) en las aceleraciones fuertes, haciendo que el ICE sea más eficiente



EMPLEO DE LA BATERÍA EN EL COCHE HÍBRIDO

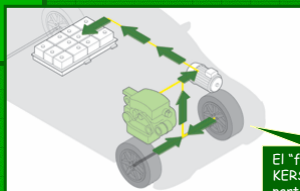
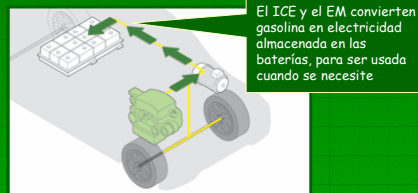
A baja velocidad o en punto muerto las baterías proporcionan toda la energía



## Fase 1a. Vehículos de bajo consumo

## Vehículos híbridos

CARGA DE LA BATERÍA EN EL COCHE HÍBRIDO



El "frenado regenerativo" (p.ej. KERS) también carga las baterías a partir de la energía de la frenada

Emisiones CO<sub>2</sub> normalizadas (1.300 kg) = 110 g/km  
Coches algo caros pero con precios en descenso

Emisiones de CO<sub>2</sub> normalizadas = 53 g/km (REE 2008)

Solución de "Better Place" (California)  
Electrolineras (recambian la batería entera en ~1 minuto y la recargan con placas solares)

# Vehículos eléctricos

(disponibles en 2010)

### Coche eléctrico vs. Coche de gasolina

Emisiones asociadas a la generación de electricidad	Emisiones de gases de invernadero en el coche
Independencia energética (compañía eléctrica)	Dependencia de la OPEP
Autonomía ~100-150 km	Más de 500 km de autonomía
Recarga en varias horas	Recarga en pocos minutos
1 céntimo € /km	7 céntimos € /km

Baterías de ión-Li



- Los coches eléctricos SE HACEN MÁS LIMPIOS AL ENVEJECER, ya que la red eléctrica se va haciendo más limpia
- Baterías caras y pesadas

## Fase 1a. Vehículos de bajo consumo

## Vehículos híbridos enchufables

### Híbrido puro

**STANDARD HYBRID**

- 1 REFUELING: Visits to the gas station are reduced, but still required.
- 2 ENERGY STORAGE: Gasoline is main source of energy, slightly augmented by batteries.
- 3 PROPULSION: Driving switches frequently between engine and motor.

### Híbrido enchufable

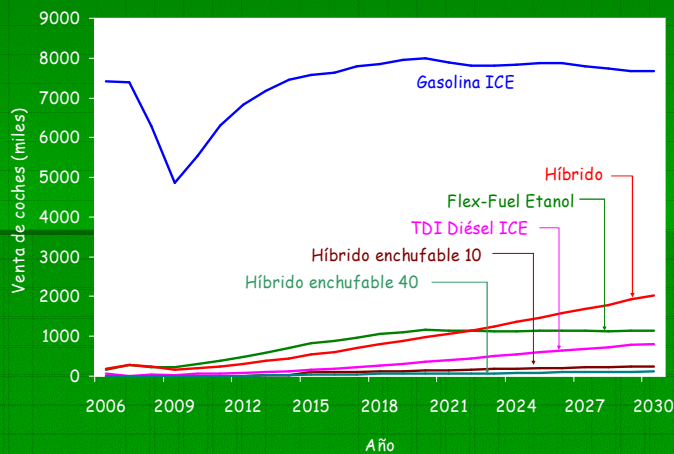
**(disponible en 2010)**

- 1 REFUELING: Minimal trips to gas station. Batteries charged at home or work.
- 2 ENERGY STORAGE: Fuel is stored as electricity in batteries, with back-up gas tank.
- 3 PROPULSION: Drives mostly on electric power, until batteries are depleted.

El motor eléctrico se utiliza en casi todas las ocasiones (p.ej. ciudad). Cuando se agotan las baterías, se recargan en casa o con el motor de gasolina. Usa menos de la mitad de combustible que un híbrido puro, y puede usar biodiésel

## Fase 1a. Vehículos de bajo consumo

Informe del D.O.E. americano sobre previsiones de ventas de coches en el mercado americano (las tecnologías no indicadas tienen ventas marginales)



## Contenidos de la charla

- > Fase 0. Control sobre la demanda
- > Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- > **Fase 1b. Biocombustibles de primera generación**
- > Fase 2. Biocombustibles de segunda generación
- > Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

## Fase 1b. Biocombustibles de primera generación



## Fase 1b. Biocombustibles de primera generación

Son aquellos producidos a partir de almidón, azúcares (bioetanol) o aceites vegetales comestibles (biodiésel)

UE = 10% Biocombustibles para 2020

España (Ley 22/2005) = Tipo 0 impuestos

(hasta 2012)

Nomenclatura

Gasohol oalconafta:

E10 = Mezcla de 10% de bioetanol anhidro y 90% de gasolina sin plomo

E85 = Mezcla de 85% de bioetanol anhidro y 15% de gasolina sin plomo

E100: Bioetanol hidratado (tiene ~4% agua)

B10, B85: Mezcla de 10, 85% de biodiésel y 90, 15% de gasóleo

# Fase 1b. Biocombustibles de primera generación

## Bioetanol EEUU

50% producción mundial (4% vs gasolina)

Precusores almidonosos (~400 L/ton)

2.050 kg etanol/ha/año



Maíz molido  
Agua

Fermentación

Enzimas  
Carbón o petróleo (calentamiento)

Etanol (96%)

Destilación

Agua

CO<sub>2</sub>

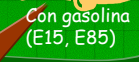


Sin gasolina (E100)

Deshidratación

Destilación azeotrópica  
Destilación extractiva  
Tamices moleculares...

Etanol (100%)



Con gasolina (E15, E85)

r.c. > 15  
V<sub>E100</sub>/V<sub>gas</sub> ~ 1

8 millones de coches flex-fuel en EEUU

V<sub>E85</sub>/V<sub>gas</sub> ~ 1,5 (r.c. ~10)  
Líneas teflón  
15% gasolina para encendido en frío  
Menos CO (30%), NO<sub>x</sub> (30%), partículas (25%)

En 2008 EEUU produjo 34.100 millones de litros de bioetanol

### Inconvenientes

- Combustibles fósiles (destilación, abonos, etc.)
- Se adicionan enzimas (degradación del almidón)

### Eficiencia

Es un proceso poco eficiente; sólo se genera 1,3 veces la energía fósil que se consume al producirlo (reducción de CO<sub>2</sub> = 10-30%)

# Fase 1b. Biocombustibles de primera generación

## Bioetanol Brasil

38% producción mundial (50% vs gasolina)

Precusores azucaradas (~100 L/ton)

4.900 kg etanol/ha/año



Azúcar de caña  
Agua

Fermentación

Enzimas  
Carbón o petróleo (calentamiento)

Etanol (96%)

Destilación

Agua

CO<sub>2</sub>



Sin gasolina (E100)

Deshidratación

Destilación azeotrópica  
Destilación extractiva  
Tamices moleculares...

Etanol (100%)



Con gasolina (E15, E85)

7.5 millones de coches flex-fuel en Brasil

En 2008 Brasil produjo 24.500 millones de litros de bioetanol

### Ventajas

- Rápido y denso crecimiento (gran producción por hectárea y año)
- Fermenta rápidamente (no necesita enzimas)
- Bagazo (residuo) de la caña de azúcar es un combustible excelente y excedentario

### Eficiencia

Es un proceso muy eficiente que genera 8 veces la energía fósil que se consume al producirlo (reducción de CO<sub>2</sub> = 86-90%)

### Peligro

La tala de árboles del bosque amazónico producida por la presión del cultivo de la caña de azúcar



## Fase 1b. Biocombustibles de primera generación

### Biodiésel



+ 200 mL metanol  
+ 6,5 g de NaOH  
(dejar reposar y enfriar durante 8h)

Transesterificación de aceites vegetales  
(rendimiento > 95% peso)



Biodiésel  
(90% peso)

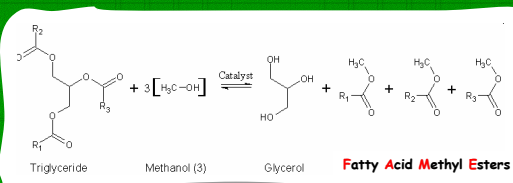
Glicerina  
(10% peso)

1 L aceite (50-55°C)

(agitar 1 hora)

- Aceite usado
- Grasa animal
- Aceite de colza
- Aceite de girasol
- Aceite de soja
- Etc.

Reducción de CO<sub>2</sub>  
~50% (EEUU)



### COMPARACIÓN CON PETRODIÉSEL

$V_{\text{Biodiesel}}/V_{\text{Diesel}} \sim 1.1$   
 Menos CO (40%), HC (60%), partículas (60%), S (100%)  
 Superior lubricidad  
 Juntas vitón (B>35)  
 Problemas encendido en frío (viscosidad)  
 Más NO<sub>x</sub> (10%)

## Fase 1b. Biocombustibles de primera generación

Precio biodiésel ayer en Jaca = 0.869 €/L

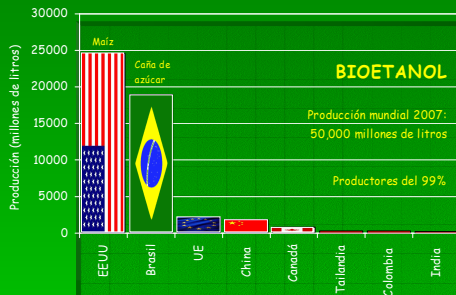
Precio Gasóleo A ayer en Jaca = 0.879 €/L  
 Impuestos (41%) = 0.323 €

Subvención por bio = 0.869 - 0.879 + 0.323 = 0.313 €/L

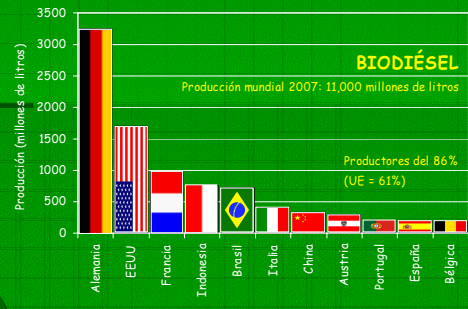
Reducciones CO<sub>2</sub> (50% reducción) = 1.25 kg/L

Coste por reducción CO<sub>2</sub> ayer en Jaca = 250 €/Ton

# Fase 1b. Biocombustibles de primera generación



## Producción mundial en 2007



Año 2016  
140,000 millones de litros (\*)

1.8% de combustible BIO (UE = 1.4%, USA = 2.8%)

50,000 millones de litros Bioetanol  
11,000 millones de litros Biodiésel

3,300,000 millones de litros Gasolina, Diésel y keroseno

(\*) Li and Liu, Appl Microbiol Biotechnol (2008) 80:749-756

# Fase 1b. Biocombustibles de primera generación

P.E.R. 2010 = 5.83%

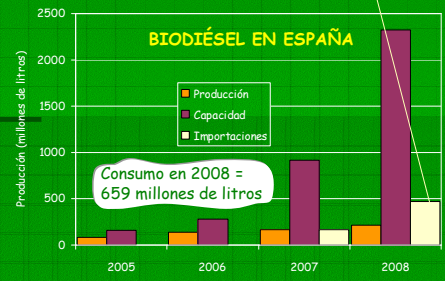
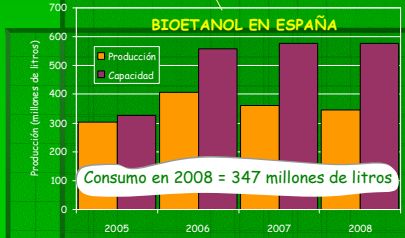
	2007	2008
%Producción	1,01	1,06
%Consumo	1,32	1,88
%Capacidad	2,81	5,25

## Biocombustibles en España

Según la APPA, las subvenciones y el dumping en otros países (EEUU) afectan al mercado español de biocombustibles

Todo el bioetanol se transforma en ETBE, aditivo de la gasolina

Porcentajes de bioetanol y biodiésel en base al consumo de gasóleos y gasolinas



Biogasolineras en España: 488 Biodiésel, 14 Bioetanol

## Contenidos de la charla

- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>
- Fase 0. Control sobre la demanda
- Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b. Biocombustibles de primera generación
- Fase 2. Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

Bioetanol de celulosa

Biodiésel de plantas no comestibles  
(*Jatropha Curcas*)

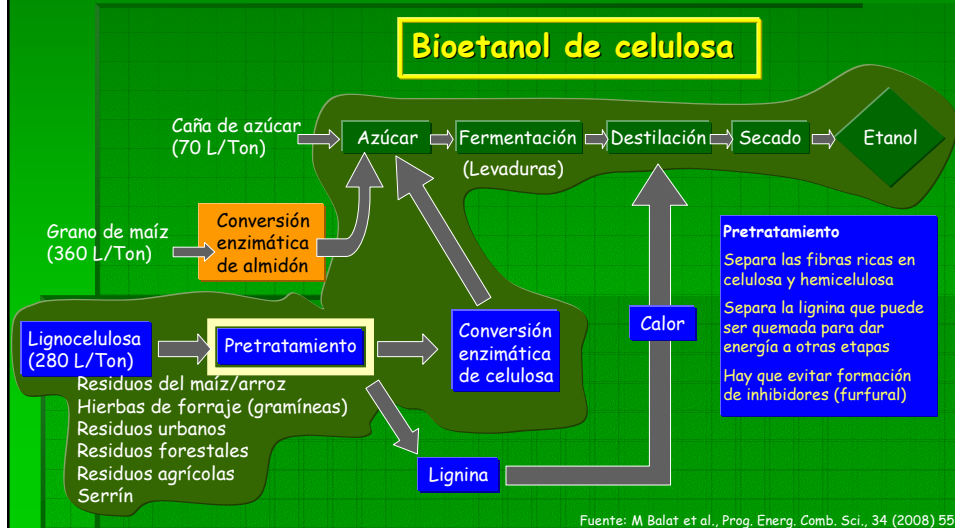
Biodiésel de algas

Biometanol de origen termoquímico

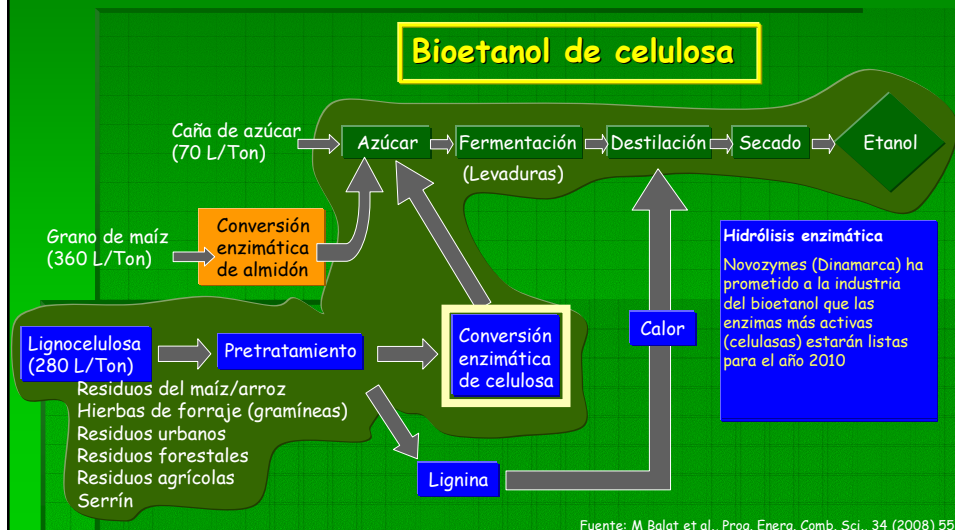




## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación



## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación



## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

### Bioetanol de celulosa

#### Ventajas de la biomasa lignocelulósica

Reducción de  $CO_2$  = 86% (Argonne National Laboratory)

Capacidad mundial para 490 GL de etanol (consumo de gasolina en 2007 = 560 GL)

Sólo con la paja de arroz se pueden obtener 210 GL de bioetanol

El coste de la biomasa es muy bajo (en los biocombustibles de primera generación representa el 40-70% del coste total)

Podría reemplazar el 25% de la gasolina en 2030

#### Desventajas de la biomasa lignocelulósica

Hoy en día, bajos rendimientos de hidrólisis

Actualmente los costes de producción son muy elevados (construcción = \$0,09/L,

pretratamiento = \$0,08/L, enzimas = \$0,04/L)



Paja de arroz

## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

### Biodiésel de "Jatropha Curcas"

- SU FRUTO ES VENENOSO: ¡NO COMPITE CON LOS ALIMENTOS!
- Las semillas tienen un contenido superior al 35% en aceite
- Sobrevive y crece en las tierras marginales, erosionadas y agotadas
- Necesita poca agua para crecer, aunque tampoco le molestan las lluvias copiosas
- Es la única planta oleaginosa cuyo ciclo productivo se extiende por más de 40 años
- Se adapta a suelos de poca fertilidad
- Produce cerca de 2.000 litros de aceite por hectárea

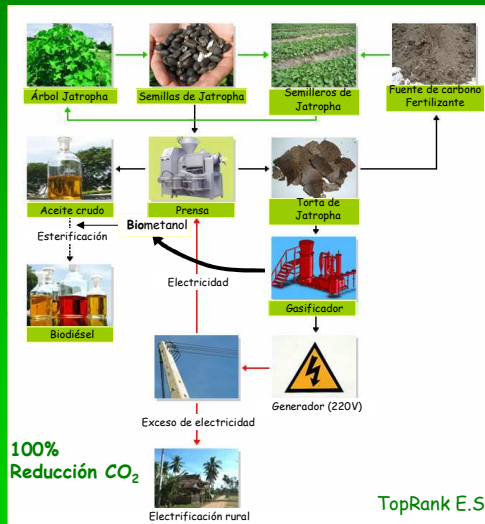


China planea cultivar una superficie equivalente a la de Inglaterra



## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

### Biodiésel de "Jatropha Curcas"



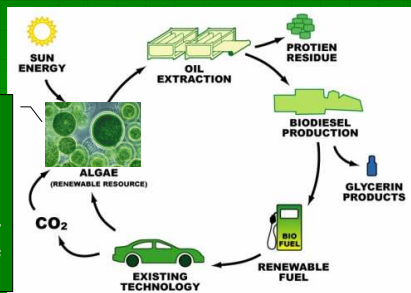
"Jatropha Curcas",  
medio rural y  
economía sostenible

TopRank E.S. Agriculture Co Ltd. (Camboya)

## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

### Biodiésel de algas

Chlorella vulgaris,  
Botryococcus braunii,  
Navicula pelliculosa,  
Scenedsmus acutus,  
Cryptocodinium cohnii,  
Dunaliella primolecta,  
Monallanthus salina,  
Neochloris oleabundans,  
Phaeodactylum  
tricornutum, Tetraselmis  
suéica...



De entre los aceites microbioanos, los procedentes de algas autotróficas son los más prometedores (40-80% en peso de contenido en aceite)

Las algas pueden cultivarse tanto en estanques abiertos como en foto-reactores cerrados

Problemas: uso de agua (el doble que en agricultura), cosecha (centrifugación, floculación, etc.)...

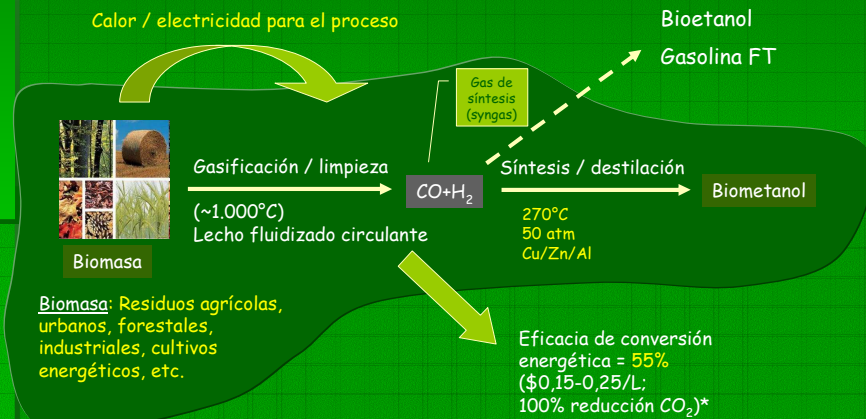


Se pueden poner cerca de fuentes de CO<sub>2</sub> (centrales térmicas)

	L aceite / Ha
Maíz	172
Soja	446
Girasol	952
Colza	1.190
Aceitunas	1.212
Jatropha Curcas	1.892
Aceite de palma	5.950
Algas	Hasta 100.000 !

## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

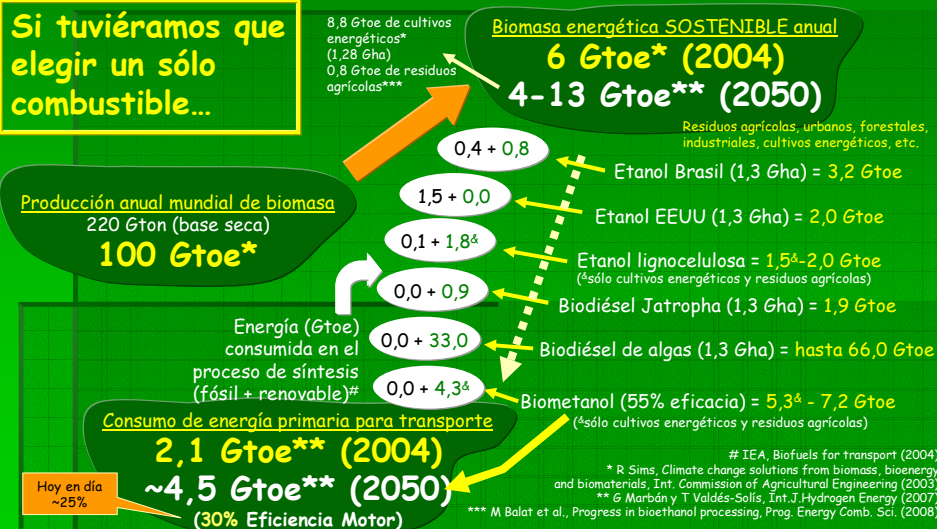
### Biometanol de origen termoquímico



\* CN Hamelinck, APC Faaij, J. Power Sources, 111 (2002) 1-22

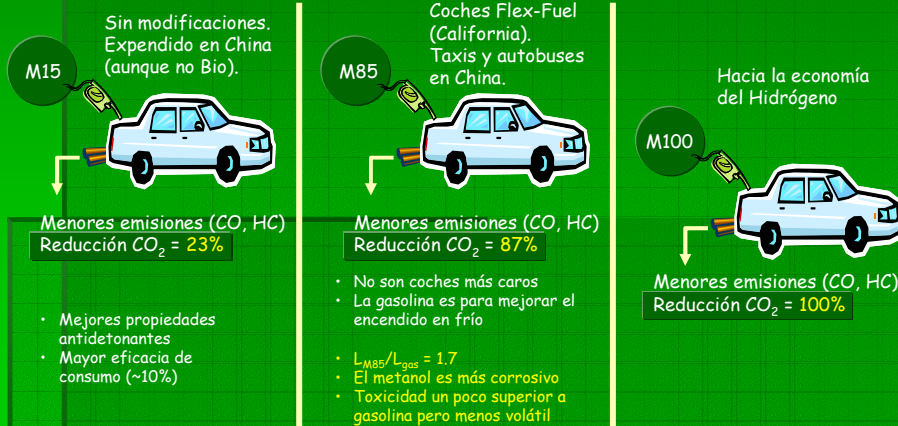
## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

Si tuviéramos que elegir un sólo combustible...



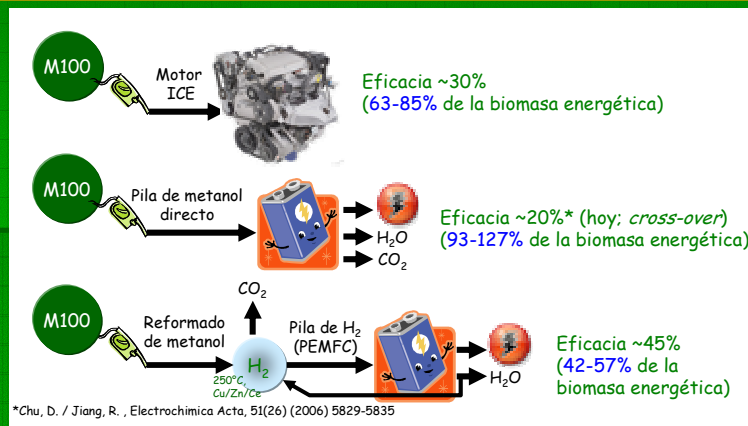
## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

### Biometanol. La transición hacia el hidrógeno...



## Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

### Biometanol. La transición hacia el hidrógeno...



# Contenidos de la charla

- > Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub>
- > Fase 0. Control sobre la demanda
- > Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- > Fase 1b. Biocombustibles de primera generación
- > Fase 2. Biocombustibles de segunda generación
- > Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

## Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

### PUNTOS CLAVE PARA EL ÉXITO DEL H<sub>2</sub> EN TRANSPORTE

1- Selección de procesos LIMPIOS de producción de H<sub>2</sub> para transporte

2- Producción de H<sub>2</sub> centralizada o producción en estación de servicio

3- Almacenamiento de H<sub>2</sub> a bordo o producción a bordo

4- Sustituir platino en pilas de combustible

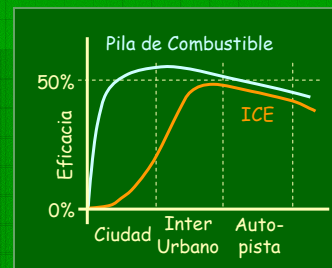
Fuente de energía



Transporte 2050  
1 Gton H<sub>2</sub>

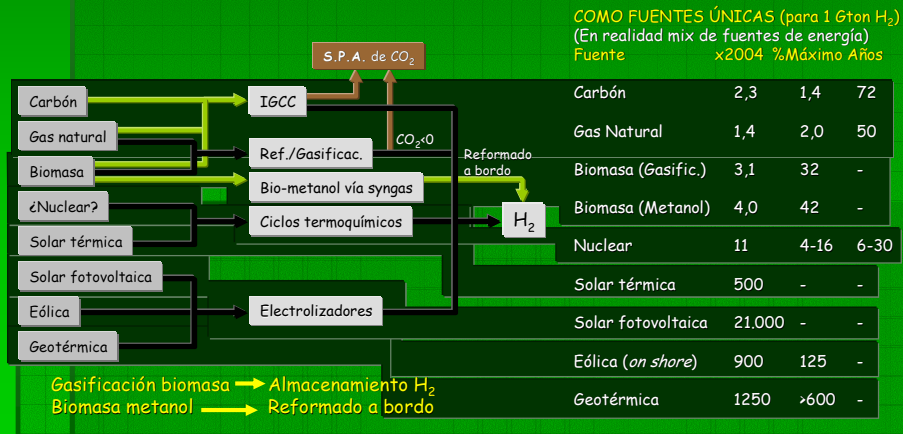
Vector energético con la mayor densidad MÁSICA de energía  
P.C.I. = 121 GJ/ton H<sub>2</sub> = 2.7 toe / ton H<sub>2</sub>

Pila de combustible



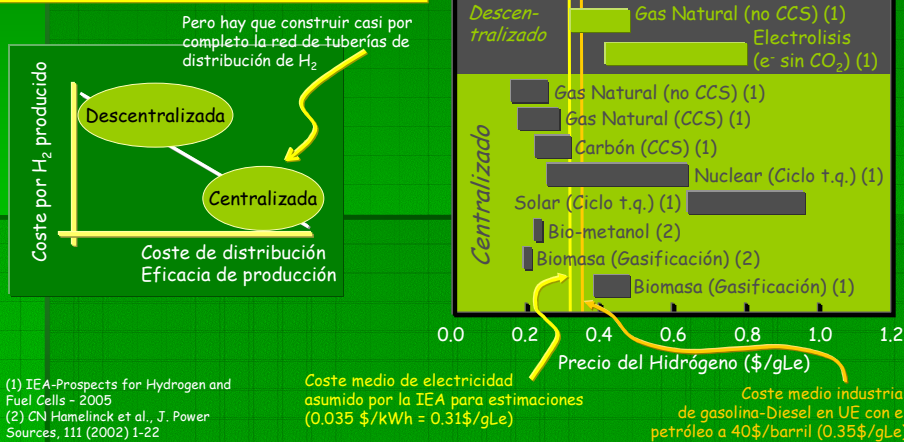
# Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

## 1.- Procesos LIMPIOS de producción de 1 Gton de H<sub>2</sub> para transporte (2050)



# Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

## 2- Generación centralizada o descentralizada



(1) IEA-Prospects for Hydrogen and Fuel Cells - 2005  
(2) CN Hamelinck et al., J. Power Sources, 111 (2002) 1-22

