

Hacia un transporte sin emisiones de CO₂

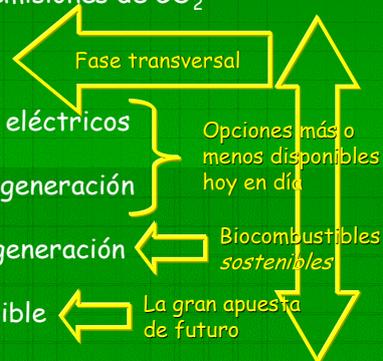


Gregorio Marbán
Instituto Nacional del Carbón
(CSIC)
Fronteras de la Energía
Benasque
8 de Julio de 2009



Contenidos de la charla

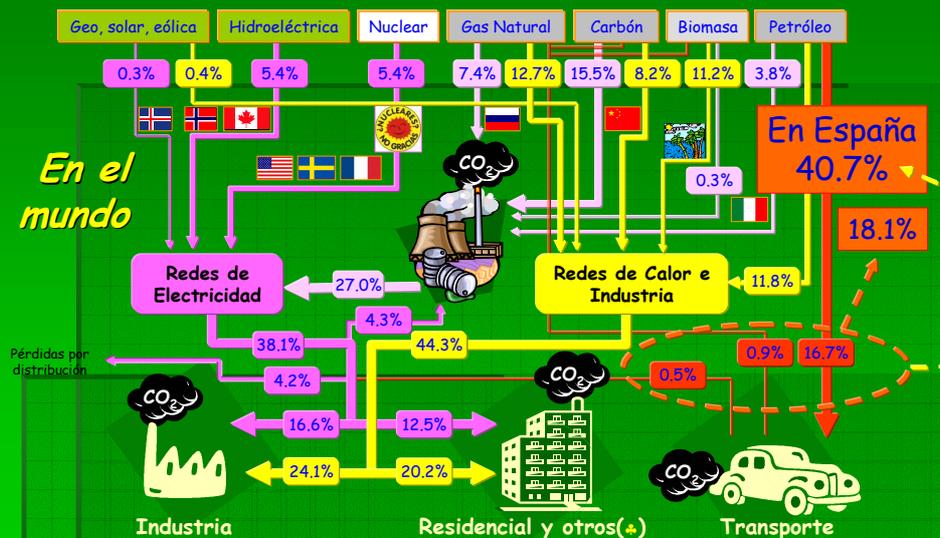
- Contribución del transporte al consumo energético nacional y mundial
- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO₂
- Fase 0. Control sobre la demanda
- Fase 1a. Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b. Biocombustibles de primera generación
- Fase 2. Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible



Contenidos de la charla

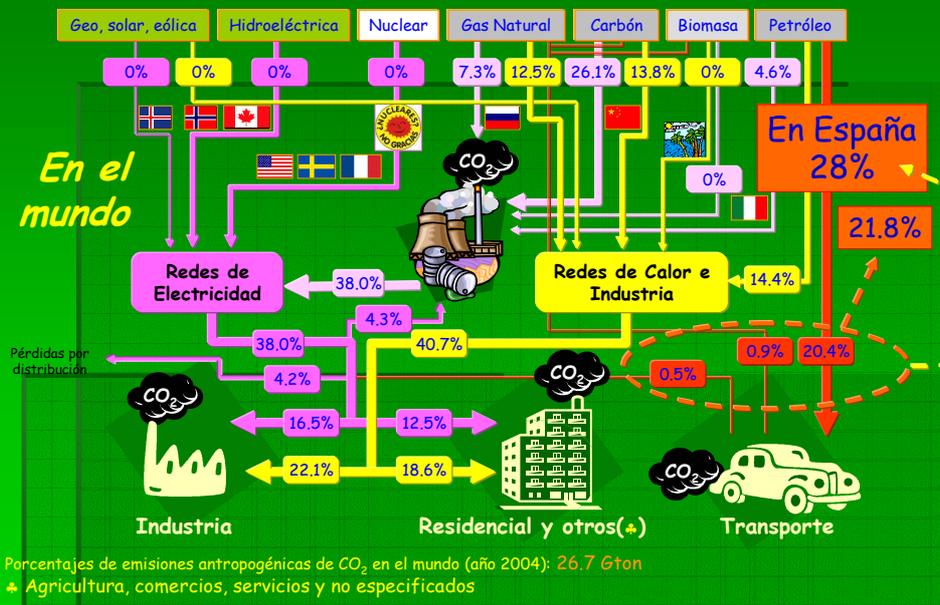
- Contribución del transporte al consumo energético nacional y mundial
- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO₂
- Fase 0: Control sobre la demanda
- Fase 1a: Vehículos de bajo consumo y eléctricos
- Fase 1b: Biocombustibles de primera generación
- Fase 2: Biocombustibles de segunda generación
- Fase 3: Hidrógeno y pilas de combustible

Pastel de la energía en el mundo



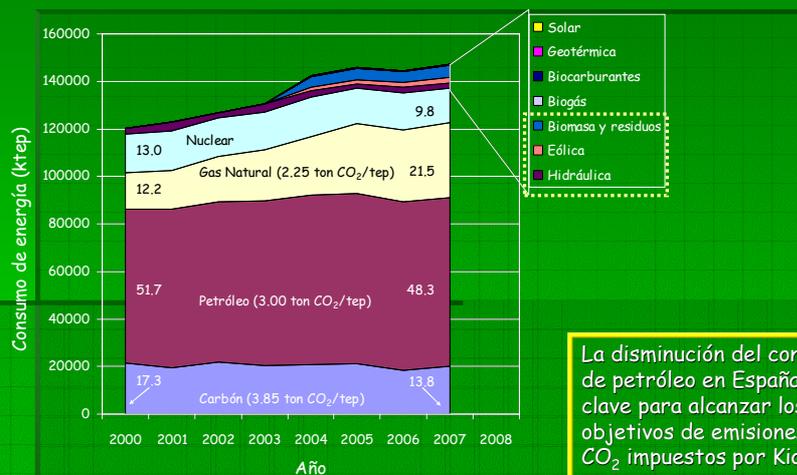
Porcentajes de Energía Primaria Mundial (año 2004): 11.7 Gtoe = 145000 TWh = 496 Quad (10¹⁵ BTU)
 * Agricultura, comercios, servicios y no especificados

Emisiones de CO₂ en el mundo



Panorama energético español

Petróleo y CO₂ en España

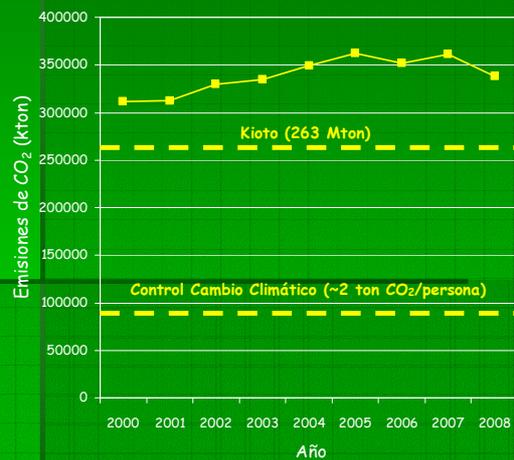


La disminución del consumo de petróleo en España es la clave para alcanzar los objetivos de emisiones de CO₂ impuestos por Kioto

Fuente: INE

Panorama energético español

Petróleo y CO₂ en España



Reducción de emisiones en el Transporte por carretera

gCO ₂ /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 CO₂ impuestos por Kioto

Contenidos de la charla

- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO₂
- 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 CO₂

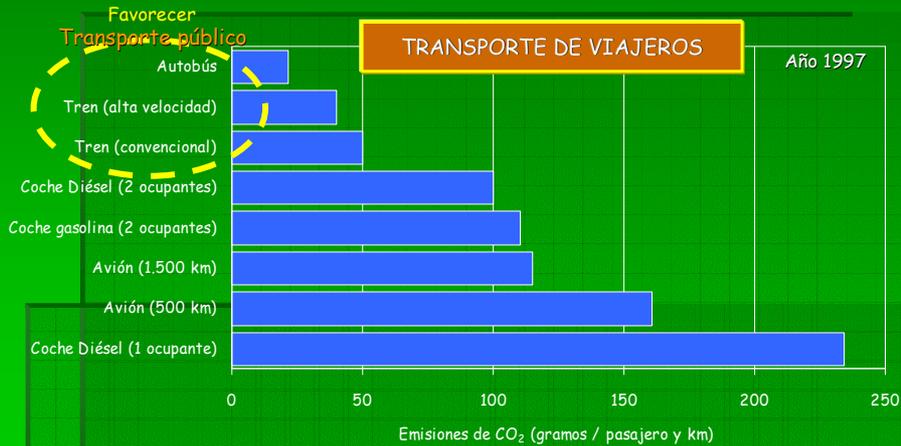
- Dado el crecimiento imparable del sector transporte, las medidas a tomar han de tener carácter inmediato
- Las medidas a adoptar no pueden resolver el problema "aquí" generando otro problema "allí". Las nuevas tecnologías deben traer aparejados estándares de sostenibilidad
- Priorizar medidas de eficiencia
- 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 CO₂
- 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

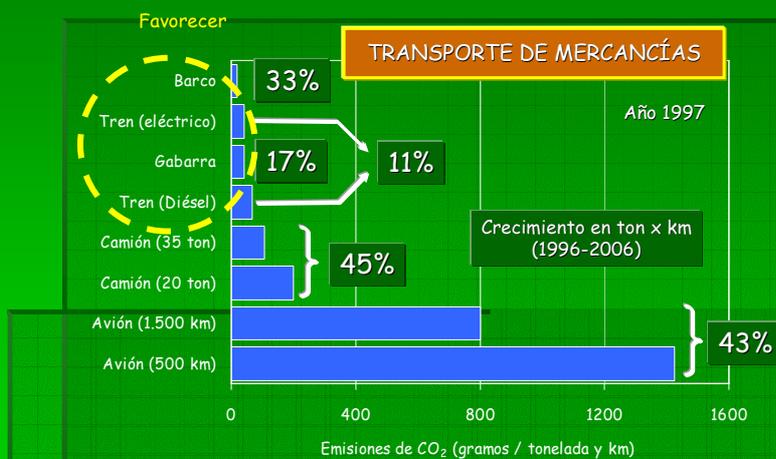
MEDIOS *¿Sobre qué medios actuamos?*



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 CO₂: 21,1 toneladas (~10%)
 Liberación espacio urbano (parking): 50.000 m²



➤ www.compartir.org, www.viajamosjuntos.com, www.comparteviaje.com, etc.

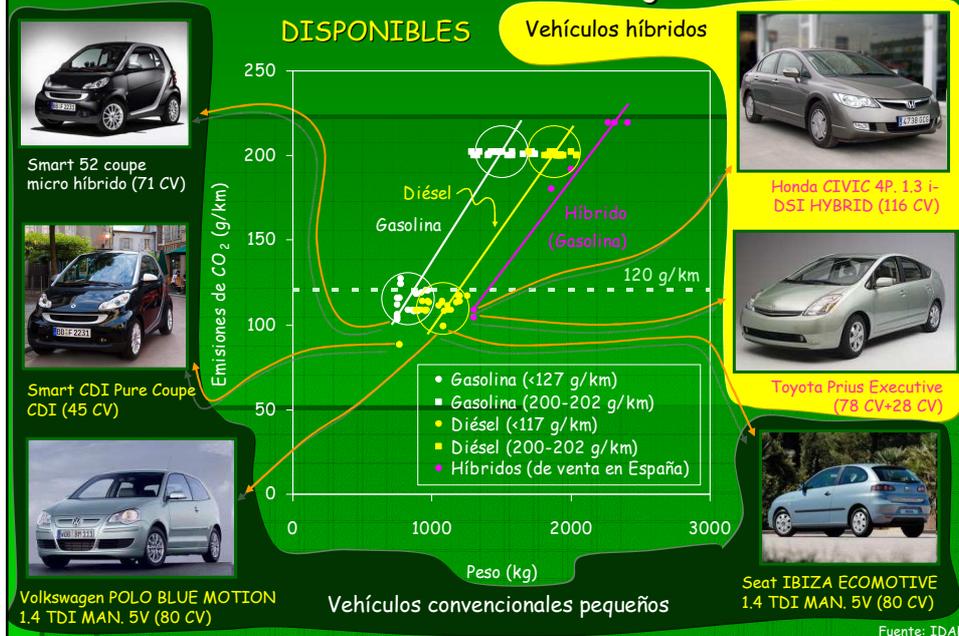


Recomendaciones del Ministerio de Medio Ambiente y del Instituto IDAE (<http://www.compartir.es>)

Contenidos de la charla

- Una hoja de ruta para minimizar las emisiones de CO₂
- 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

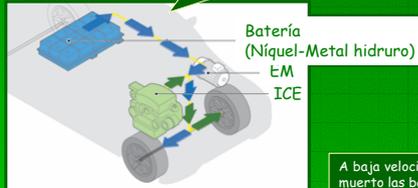
Fase 1a. Vehículos de bajo consumo



Fase 1a. Vehículos de bajo consumo

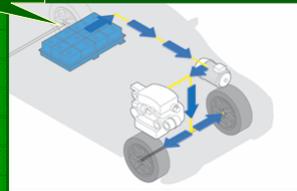
Vehículos híbridos

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

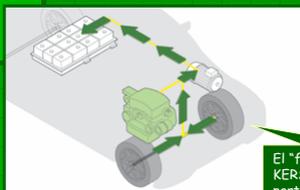
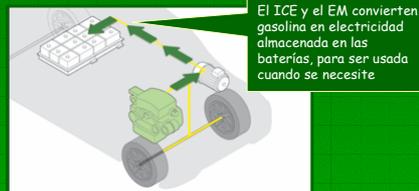
A baja velocidad o en punto muerto las baterías proporcionan toda la energía



Fase 1a. Vehículos de bajo consumo

Vehículos híbridos

CARGA DE LA BATERÍA EN EL COCHE HÍBRIDO



Emisiones CO₂ normalizadas (1.300 kg) = 110 g/km
Coches algo caros pero con precios en descenso

Emisiones de CO₂ 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

Enchufe en casa

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

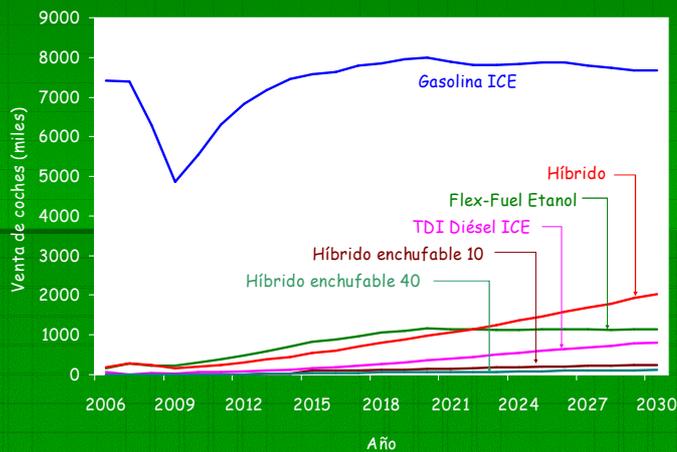
(disponible en 2010)

- 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
Enzimas
Carbón o petróleo (calentamiento)

Fermentación

CO₂

Etanol (96%)

Destilación

Agua



Sin gasolina (E100)



Con gasolina (E15, E85)

Deshidratación

Destilación azeotrópica
Destilación extractiva
Tamices moleculares...

r.c. > 15
V_{E100}/V_{gas} ~ 1

Etanol (100%)

8 millones de coches flex-fuel en EEUU

V_{E85}/V_{gas} ~ 1,5 (r.c. ~10)
Líneas teflón
15% gasolina para encendido en frío
Menos CO (30%), NO_x (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 CO₂ = 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
Enzimas
Carbón o petróleo (calentamiento)

Fermentación

CO₂

Etanol (96%)

Destilación

Agua



Sin gasolina (E100)



Con gasolina (E15, E85)

Deshidratación

Destilación azeotrópica
Destilación extractiva
Tamices moleculares...

Etanol (100%)

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

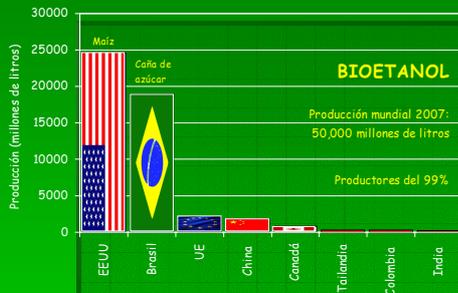
Es un proceso muy eficiente que genera 8 veces la energía fósil que se consume al producirlo (reducción de CO₂ = 86-90%)

Peligro

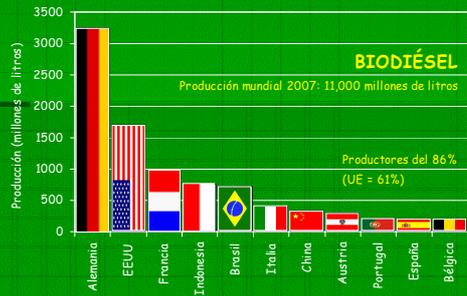
La tala de árboles del bosque amazónico producida por la presión del cultivo de la caña de azúcar



Fase 1b. Biocombustibles de primera generación



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%

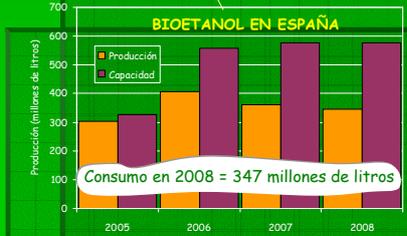
	2007	2008
%Producción	1,01	1,06
%Consumo	1,32	1,88
%Capacidad	2,81	5,25

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 CO₂
- 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

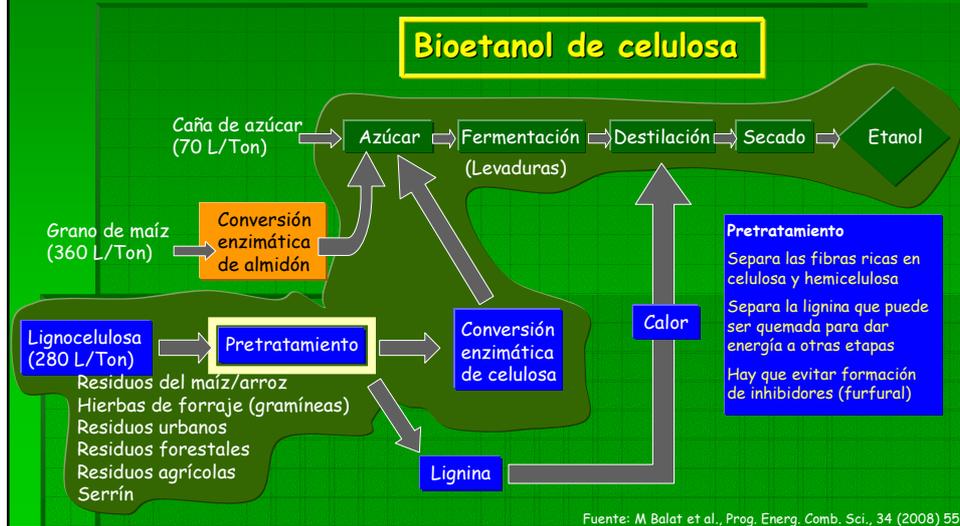
Biodiésel de plantas no comestibles
(*Jatropha Curcas*)

Biodiésel de algas

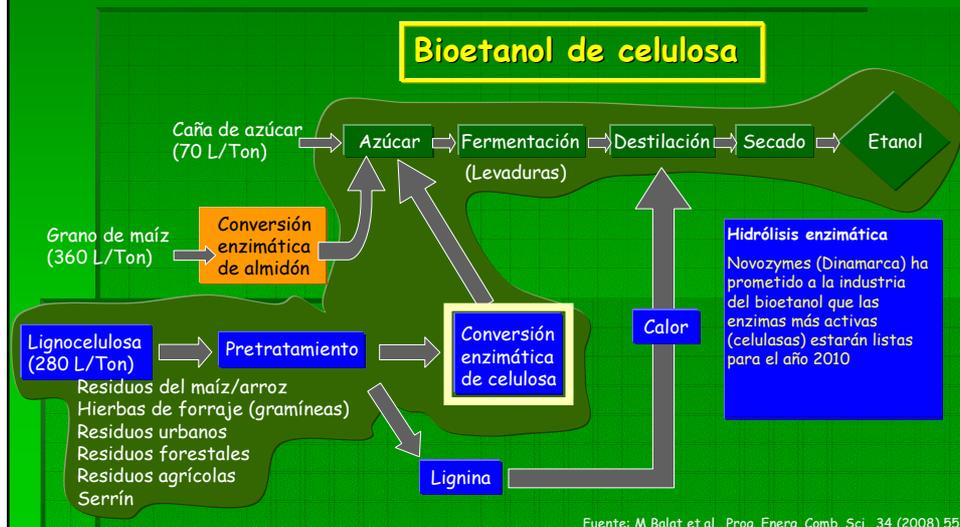
Biometanol de origen termoquímico



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)



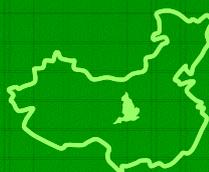
Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

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

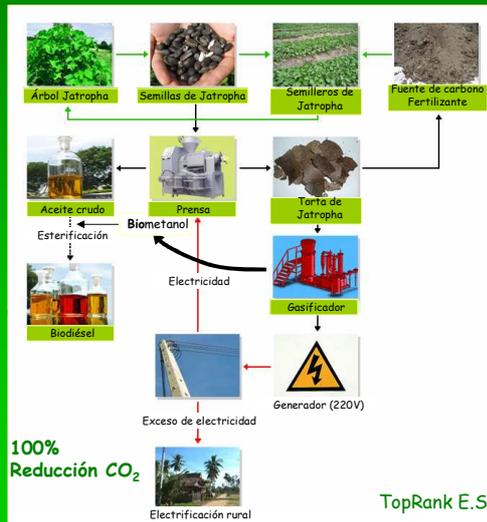


China planea cultivar una superficie equivalente a la de Inglaterra



Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

Biodiésel de "Jatropha Curcas"



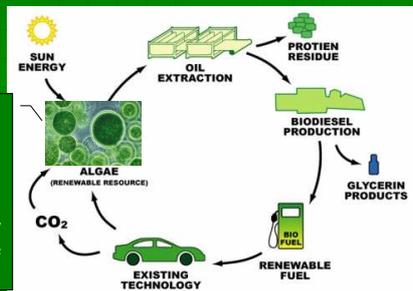
"Jatropha Curcas",
medio rural y
economía sostenible

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
suëica...



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.)...

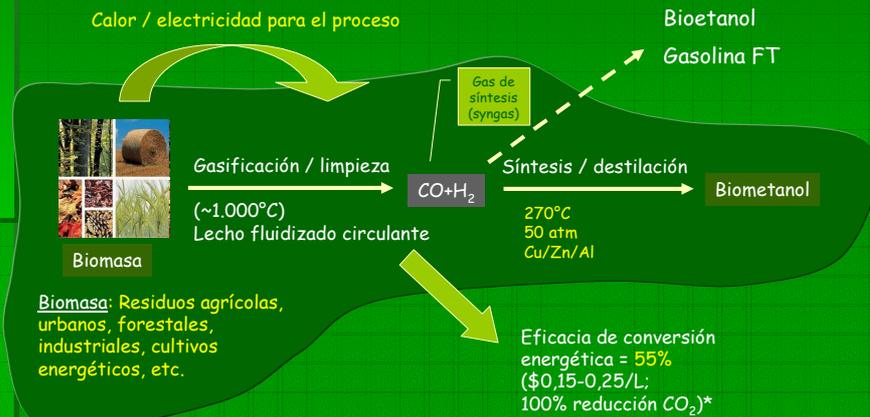


Se pueden poner cerca de fuentes de CO₂ (centrales térmicas)

	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

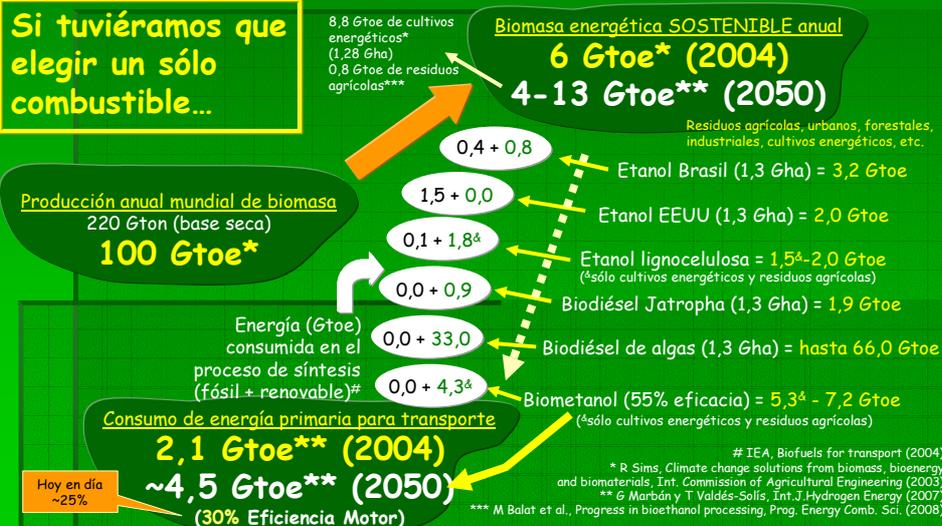
Biometanol de origen termoquímico



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

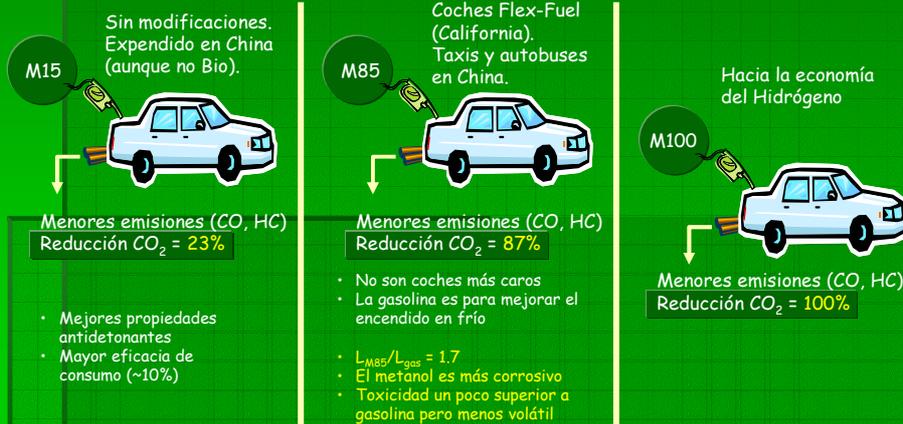
Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

Si tuviéramos que elegir un sólo combustible...



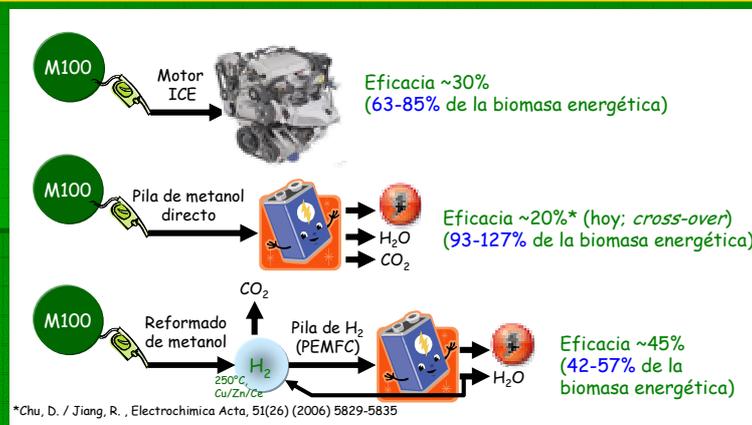
Fase 2. Biocombustibles de segunda generación

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 CO₂
- > 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 H₂ EN TRANSPORTE

1- Selección de procesos LIMPIOS de producción de H₂ para transporte

2- Producción de H₂ centralizada o producción en estación de servicio

3- Almacenamiento de H₂ a bordo o producción a bordo

4- Sustituir platino en pilas de combustible

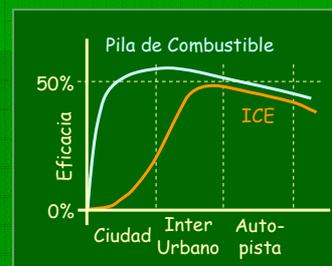
Fuente de energía



Transporte 2050
1 Gton H₂

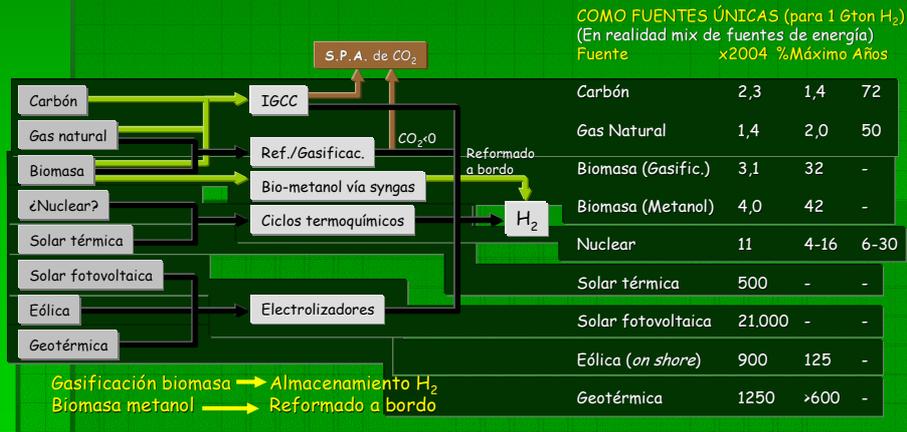
Vector energético con la mayor densidad MÁSICA de energía
P.C.I. = 121 GJ/ton H₂ = 2.7 toe / ton H₂

Pila de combustible



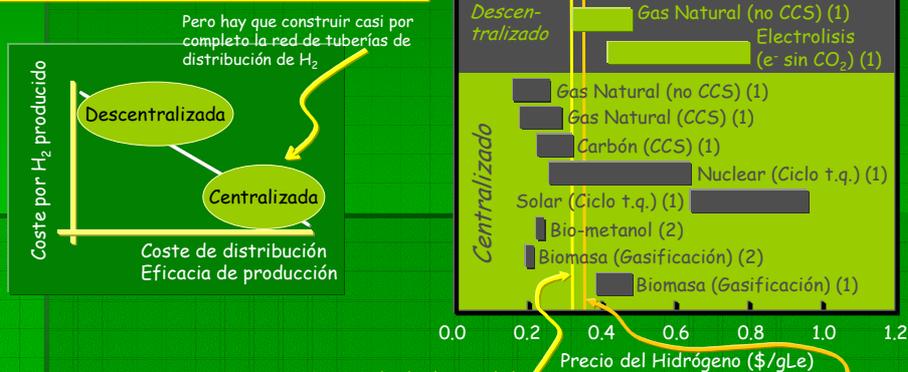
Fase 3. Hidrógeno y pilas de combustible

1.- Procesos LIMPIOS de producción de 1 Gton de H₂ 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

Coste medio de electricidad asumido por la IEA para estimaciones (0.035 \$/kWh = 0.31\$/gLe)

Coste medio industrial de gasolina-Diesel en UE con el petróleo a 40\$/barril (0.35\$/gLe)

