



REDUCCIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES EXISTENTES: EFICIENCIA Y COCOMBUSTION

Fernando Rubiera González
Instituto Nacional del Carbón (C.S.I.C.)
Grupo de Procesos Energéticos y Reducción de Emisiones
frubiera@incar.csic.es



Fronteras de la Energía, Benasque - 7 de Julio de 2009

ÍNDICE

- **INTRODUCCIÓN**
 - *Situación energética*
 - *Emisiones de gases de efecto invernadero*
- **AUMENTO DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO**
- **CO-UTILIZACIÓN DE BIOMASA CON FINES ENERGÉTICOS**

PANORAMA ENERGÉTICO

DEMANDA DE ENERGÍA

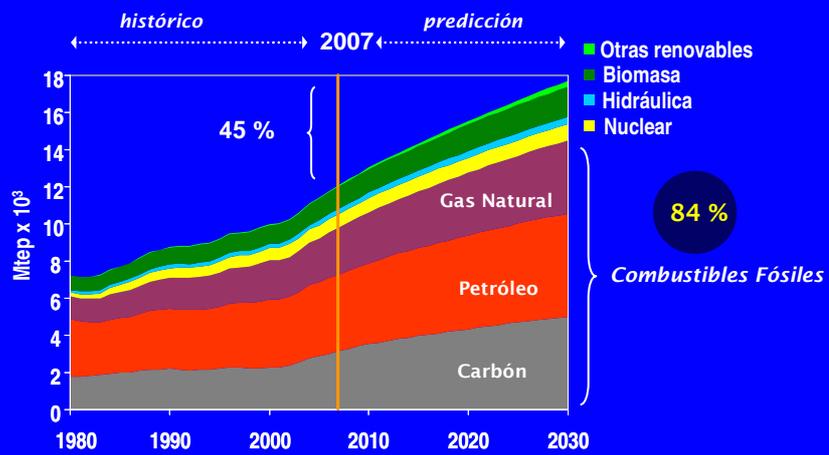
7 de Noviembre de 2007

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) califica de "alarmante" el crecimiento de la demanda energética.

Presentación del World Energy Outlook 2007

PANORAMA ENERGÉTICO

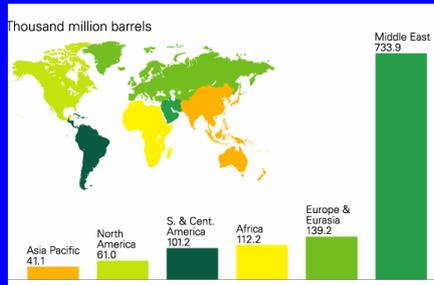
Demanda de Energía Primaria Mundial



- * Aumento de la población mundial
- * Aumento del consumo energético per capita

Fuente: World Energy Outlook 2008, Agencia Internacional de la Energía

Reservas de petróleo



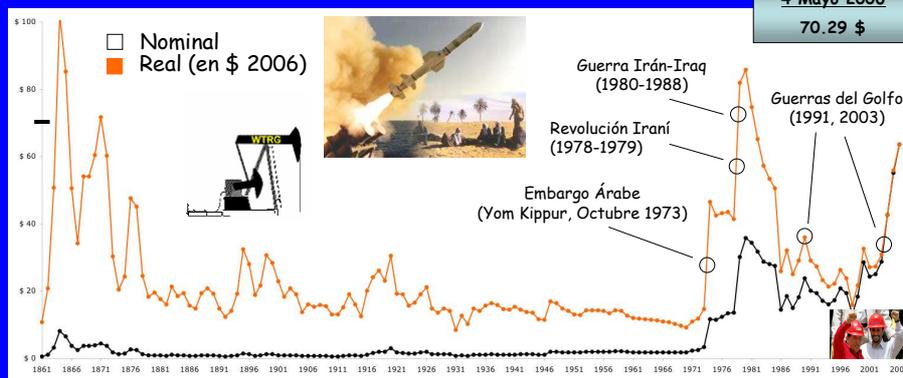
Zona	Reservas (10 ⁹ b)	Porcentaje (%)
Oriente Próximo (Arabia Saudí)	755.3 (264.1 - 464.0)	61.0 (21.0)
Europa y Eurasia	142.2	11.3
África	125.6	10.0
Centroamérica y Suramérica	123.2	9.8
Norteamérica (EE.UU.)	70.9 (30.5)	5.6 (2.4)
Asia-Pacífico	42.0	3.3
TOTAL	1258	100
(OCDE)	(88.9)	(7.1)
(OPEP)	(955.8)	(76.0)

- Países OPEP: 76.0%
 Arabia Saudí, Argelia, E.A.U, Qatar, Indonesia, Irak, Irán (10.9%), Kuwait, Libia, Nigeria, Venezuela (7.9%)
 - XVIII Cong. Mundial del Petróleo (2005)
 Arabia Saudí eleva los cálculos de las reservas de petróleo a 464000 Mb

Duración de las reservas al ritmo de producción actual: 42 años

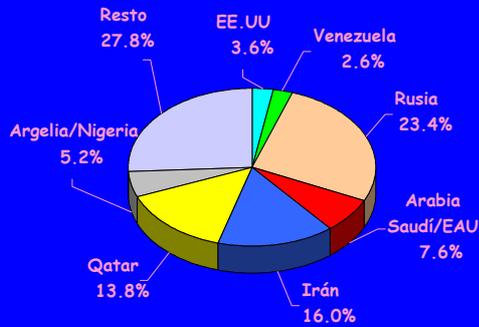
Fuente: BP Statistical Review of World Energy June 2009

Evolución del precio del barril de petróleo (1861-2009)



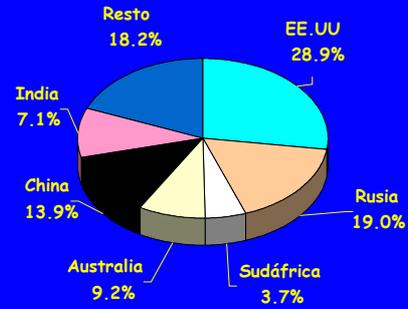
3 Junio 2009	66.57 \$
11 Julio 2008	147.27 \$
21 Nov. 2007	96.85 \$
4 Mayo 2006	70.29 \$

Reservas de carbón y gas natural



OCDE: 8.9%

GAS NATURAL
60 años

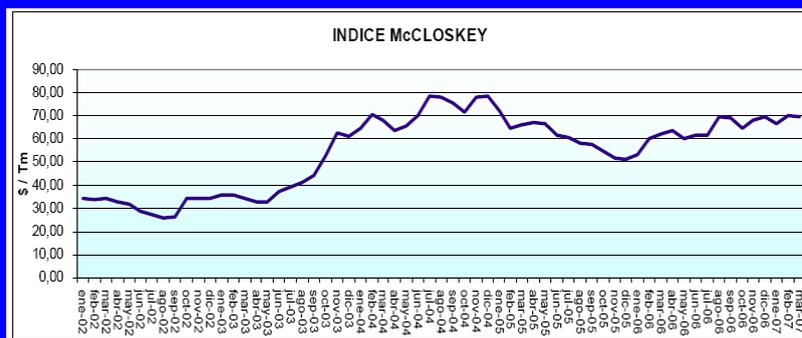


OCDE: 42.1%

CARBÓN
122 años

Fuente: BP Statistical Review of World Energy June 2009

Desde principios de 2004 el carbón internacional se ha mantenido en torno a los 70 \$/t ...

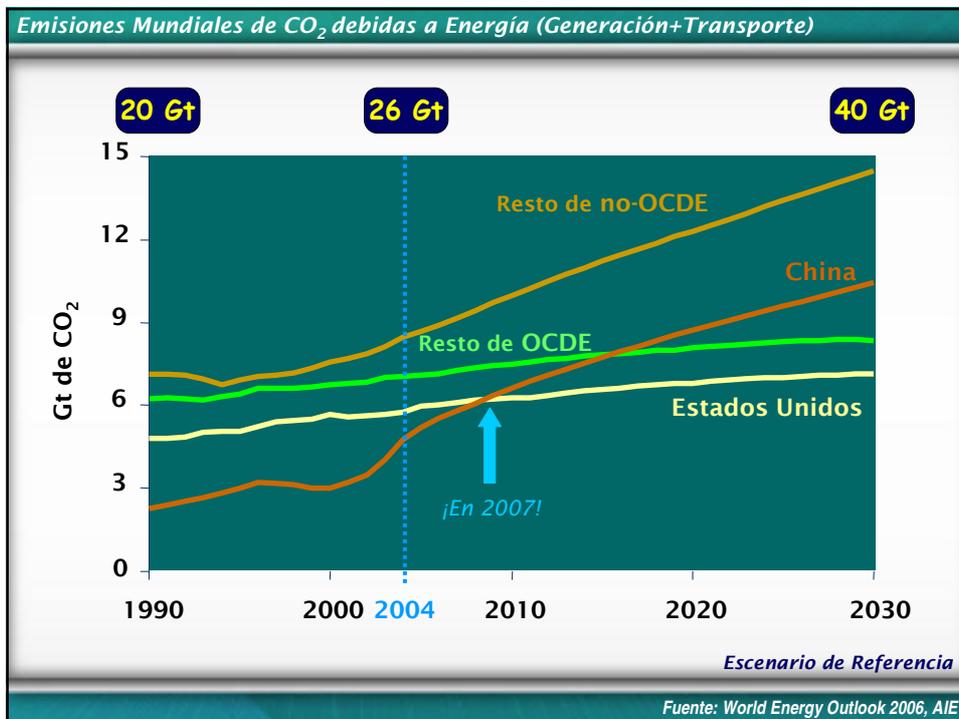


Julio 2008: 219.35 \$/t
 Agosto 2008: 187.50 \$/t
 Septiembre 2008: 191.1 \$/t
Junio 2009: 70.6 \$/t

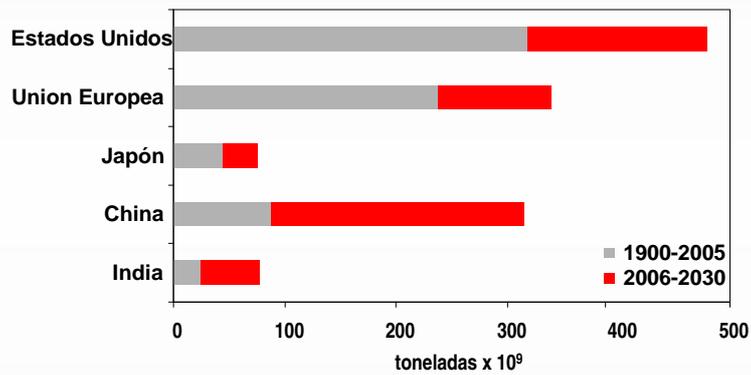
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO: CO₂

Las emisiones de CO₂ de los países industrializados aumentarán un 57% en 2030 de seguir los ritmos actuales, factor que coincidirá con un incremento de la temperatura global de entre 5 y 6 grados, según los últimos datos de Naciones Unidas. Incluso si los distintos gobiernos optan por políticas ecológicas, la AIE calcula que el vertido de gases de efecto invernadero a la atmósfera aumentará un 25% mientras los termómetros lo harán en 3 grados.

World Energy Outlook 2007, Agencia Internacional de la Energía

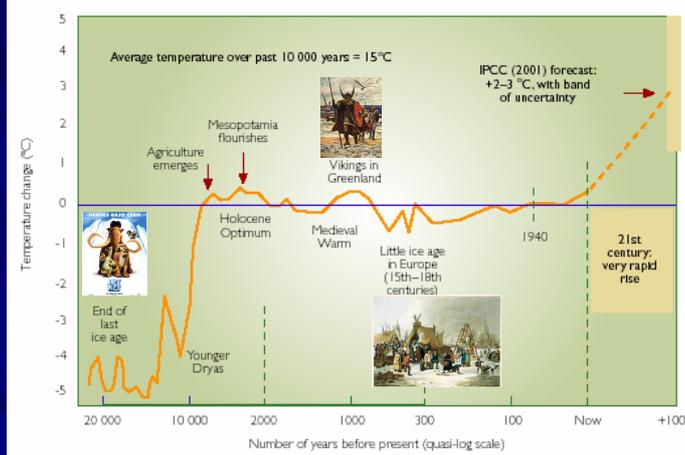


Emisiones de CO₂ relacionadas con procesos energéticos

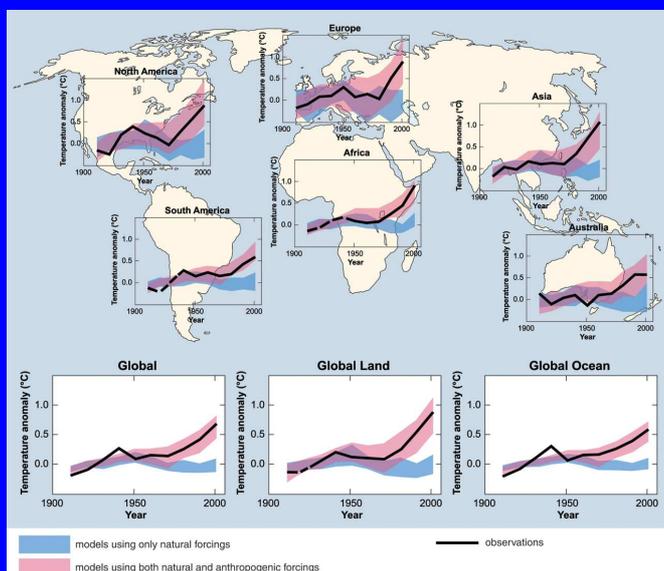


Alrededor del 75% del aumento global de las emisiones en el período 2006-2030 se deberá a China, India y Oriente Medio

Variación de la temperatura media de la Tierra en los últimos 20000 años



Origen antropogénico del Cambio Climático



Fuente: IPCC 4th Assessment Report 2007

Emisiones de gases de efecto invernadero y Protocolo de Kyoto

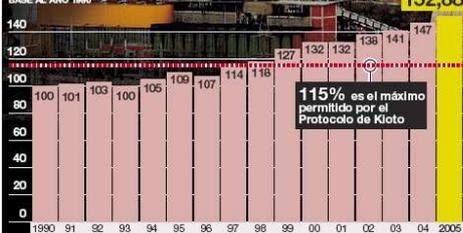
Objetivo global en la UE: reducción de un 8% en el periodo 2008-2012 respecto a las emisiones en 1990

España: Situación respecto a los compromisos del Protocolo de Kyoto

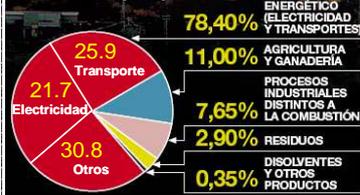
440.7 Mt CO₂ equiv. en 2005 (152.9%)
 428.8 en 2006 (148.1%)
 441.4 en 2007 (152.4%)
 413.5 en 2008 (142.7%)

Emisiones brutas

PORCENTAJE EN BASE AL AÑO 1990



Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)





Estrategias para la reducción de las emisiones de CO₂

- **Concienciación:** Ahorro energético, incluyendo uso racional del transporte
- **Reforestación:** Sumideros de carbono
- **Captura y almacenamiento de CO₂:**
 - Permite continuar usando recursos fósiles
 - Transición a una energía sostenible
- **Tecnologías avanzadas:** Aumento del rendimiento energético
- **Cambio de combustible:**
 - Gas Natural
 - Energía Nuclear
 - Renovables (hidráulica, eólica, biomasa, solar, etc.)
 - Futuro: Economía del hidrógeno

Weyburn: Conducto de CO₂

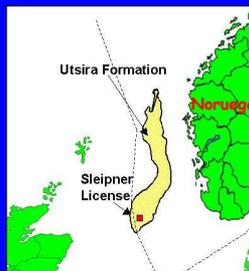


· 5000 ton/día de CO₂ desde la planta de gasificación de Dakota (EE.UU.) a Weyburn (Canadá) para EOR (320 km de tubería)

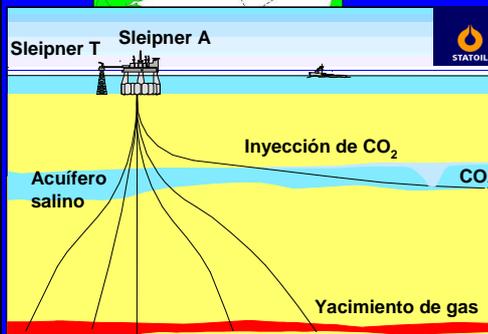


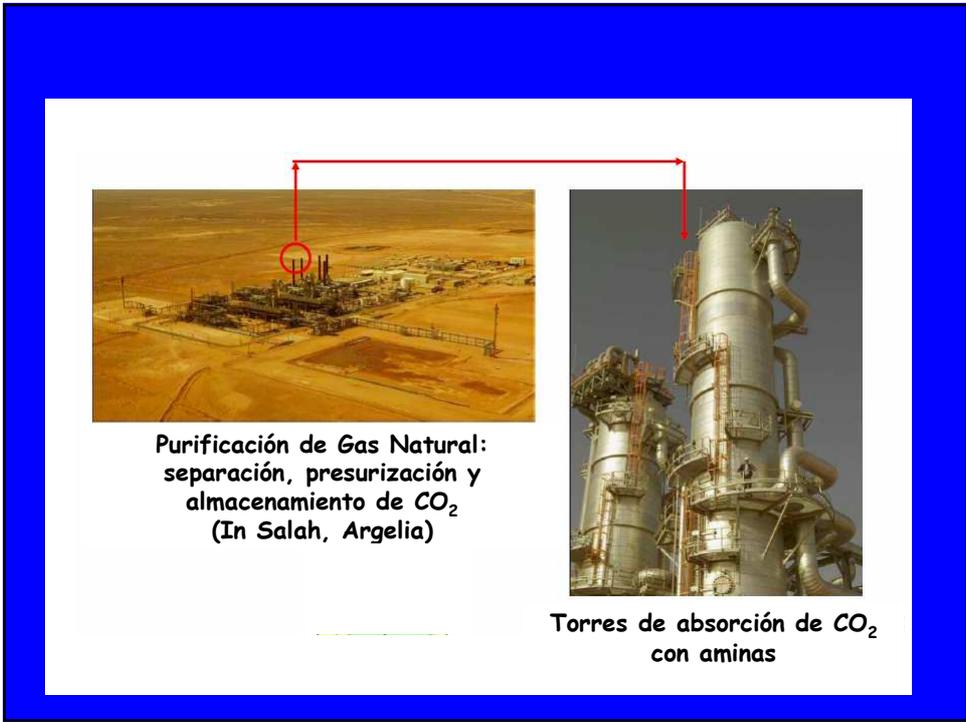
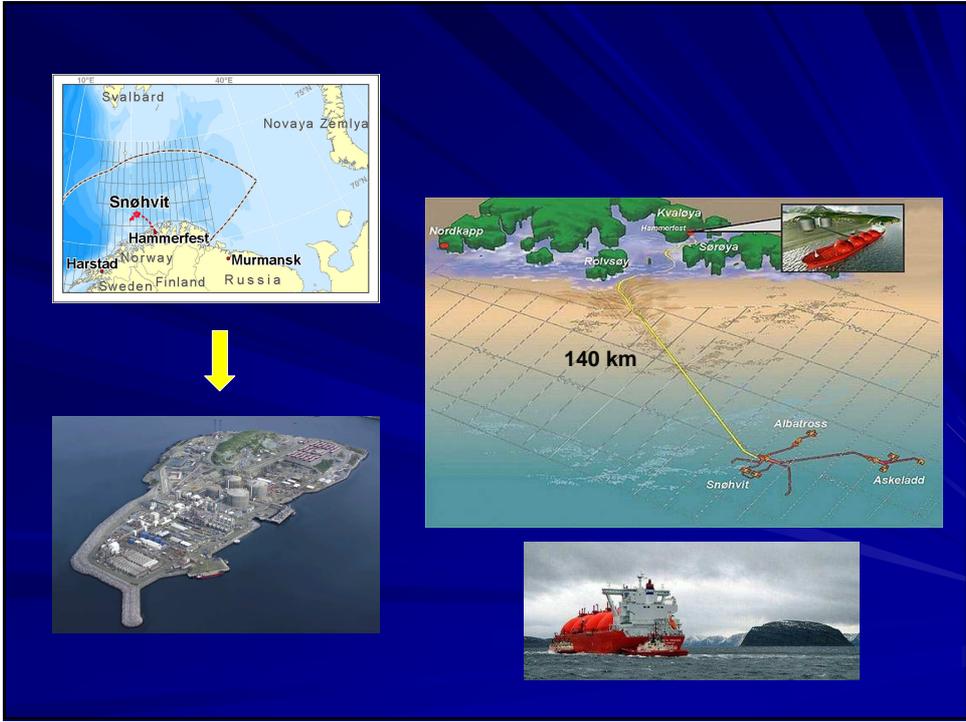
· 3000 km de conducciones de CO₂ en EE.UU.

Almacenamiento de CO₂ en el Mar del Norte



- El proyecto Sleipner en el Mar del Norte (Noruega) iniciado en 1996 fue el primero a escala comercial de captura y almacenamiento de CO₂
- En la formación geológica de Utsira, 800 m bajo el mar, se almacenan anualmente 1 millón de toneladas de CO₂
- Capacidad de almacenamiento para las emisiones de CO₂ de todas las centrales térmicas europeas durante 600 años
- Motivado por la tasa Noruega al CO₂ (45 \$ + CO₂ en el año 2004)





Captura postcombustión



- ⊖ Elevado consumo de energía
- ⊖ Problemas de corrosión
- ⊖ Volumen de las instalaciones

Estrategias para la reducción de las emisiones de CO₂

- **Concienciación:** Ahorro energético, incluyendo uso racional del transporte
- **Reforestación:** Sumideros de carbono
- **Captura y almacenamiento de CO₂:**
 - Permite continuar usando recursos fósiles
 - Transición a una energía sostenible
- **Tecnologías avanzadas:** Aumento del rendimiento energético
- **Cambio de combustible:**
 - Gas Natural
 - Energía Nuclear
 - Renovables (hidráulica, eólica, biomasa, solar, etc.)
 - Futuro: Economía del hidrógeno

TECNOLOGÍAS LIMPIAS



Jherlyn López, reinterpretación "Muchacha en la ventana" Dalí

Reducción de Emisiones de CO₂

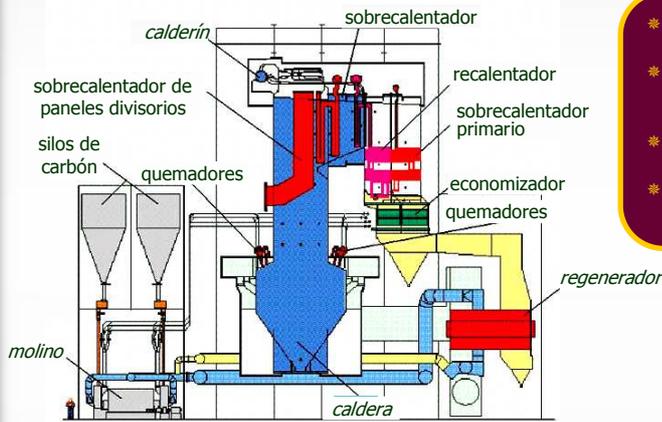
Aumento del Rendimiento Energético



Reducción Emisiones CO₂

Generación de energía a partir de combustibles fósiles: Tecnologías Actuales

Carbón Pulverizado (PC)



- * Cientos de GWe instalados, unidades hasta 1000 MWe
- * Representa el 98% de la capacidad instalada en centrales de carbón
- * Eficacia puede ser superior al 40% (PCI)
- * Sistemas de control de emisiones bien establecidos

Caldera PC de antracitas

Generación de energía a partir de combustibles fósiles: Tecnologías Actuales



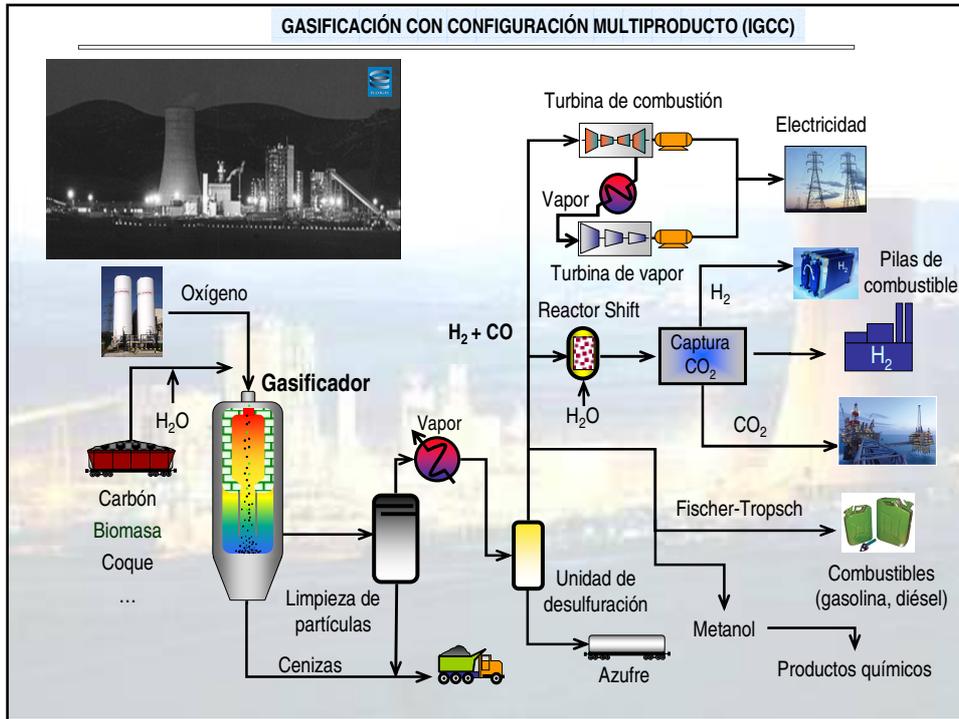
Tecnología Subcrítica
170 bar / 540 °C

- Eficacia Neta (PCS): 35 % - 37 %
- Bajos costes
- Flexibilidad operación
- Alta disponibilidad



Tecnología Supercrítica (SC)
250 bar / 540 °C

- Alta eficacia: 38 % a 45 %
- Bajas emisiones específicas
- Buen control T vapor en todo el rango de carga



Tecnologías Avanzadas: Aumento de la eficacia y Reducción de emisiones de CO_2

Calderas de Carbón Pulverizado Ultra-Supercríticas (USC PC)

Tecnología Ultra-Supercrítica (USC)

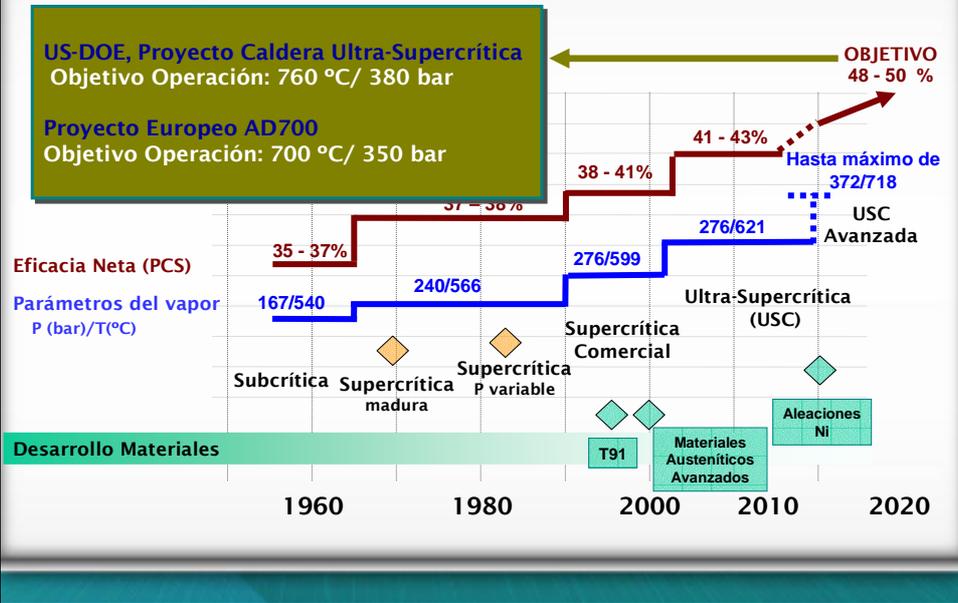
- No existe una definición clara: 300 bar / 600 °C
- Eficacias posibles $\geq 46\%$

Torrevaldaliga (Italia)
Primera central en Europa que alcanzará 600 °C en el sobrecalentador (prevista 2008)

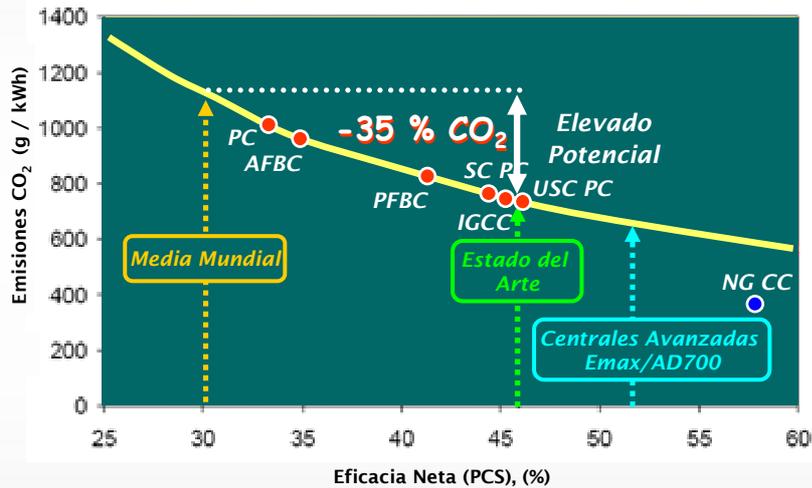
Nørdjyllandsværket (Dinamarca)
Grupo 3-400 MW Ultra-Supercrítica
Vapor: 290 bar, 582 °C
47 % eficacia (PCI)

- * Tecnología demostrada para 280 bar, 600/610°C y lista para 300 bar, 630/630 °C
- * Materiales: factor limitante
- * Europa es competitiva con Japón y EEUU en el desarrollo de nuevos aceros para plantas ultra-supercríticas de nueva generación (370 bar, 700 °C) gracias a proyectos como AD700 y Comtes 700

Progreso en la Eficacia: Centrales de Vapor

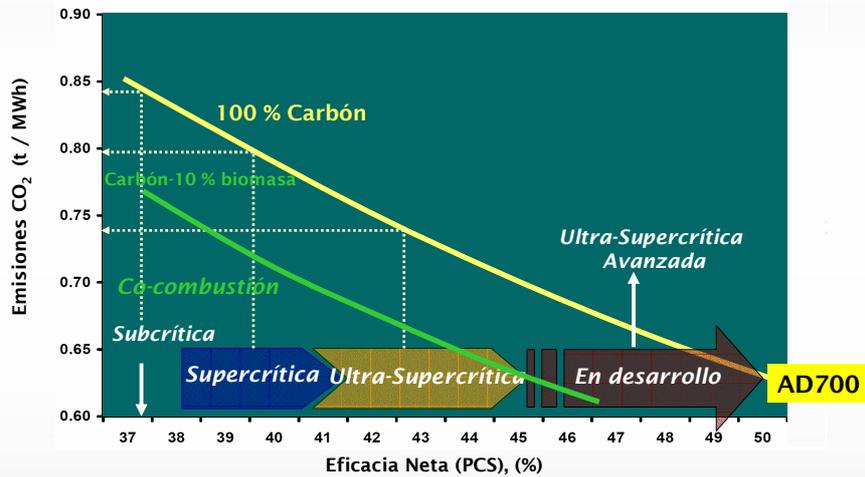


Emisiones de CO₂ vs. Eficacia



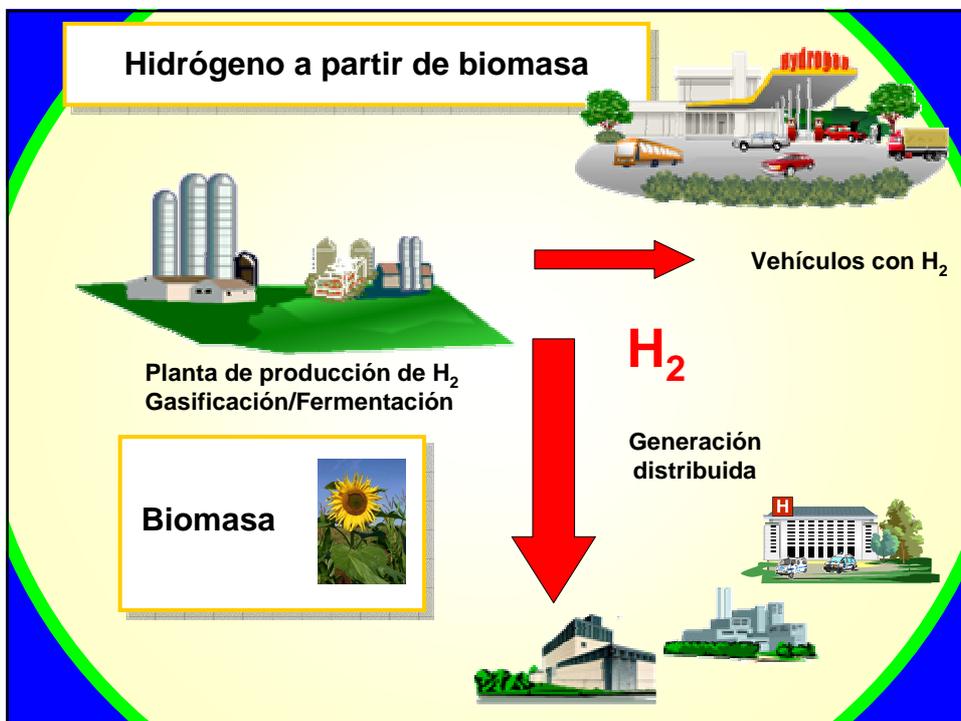
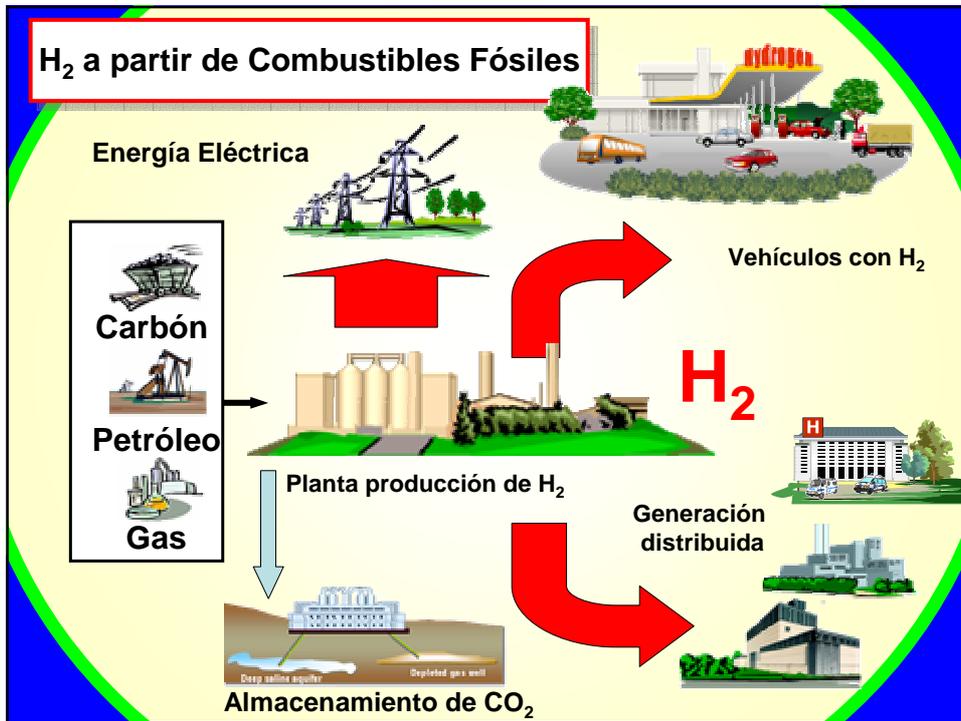
Fuente: World Energy Outlook 2004, International Energy Agency

Emisiones de CO₂ vs. Eficacia



Estrategias para la reducción de las emisiones de CO₂

- **Concienciación:** Ahorro energético, incluyendo uso racional del transporte
- **Reforestación:** Sumideros de carbono
- **Captura y almacenamiento de CO₂:**
 - Permite continuar usando recursos fósiles
 - Transición a una energía sostenible
- **Tecnologías avanzadas:** Aumento del rendimiento energético
- **Cambio de combustible:**
 - Gas Natural
 - Energía Nuclear
 - Renovables (hidráulica, eólica, biomasa, solar, etc.)
 - Futuro: Economía del hidrógeno



Estrategias para la reducción de las emisiones de CO₂

- **Concienciación:** Ahorro energético, incluyendo uso racional del transporte
- **Reforestación:** Sumideros de carbono
- **Captura y almacenamiento de CO₂:**
 - Permite continuar usando recursos fósiles
 - Transición a una energía sostenible
- **Tecnologías avanzadas:** Aumento del rendimiento energético
- **Cambio de combustible:**
 - Gas Natural
 - Energía Nuclear
 - Renovables (hidráulica, eólica, biomasa, solar, etc.)
 - Futuro: Economía del hidrógeno

BIOMASA

- Conjunto de materiales orgánicos generados a partir de la fotosíntesis, o bien producidos en las cadenas biológicas
- Fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de industrias agrícolas, ganaderas y forestales, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y urbanos

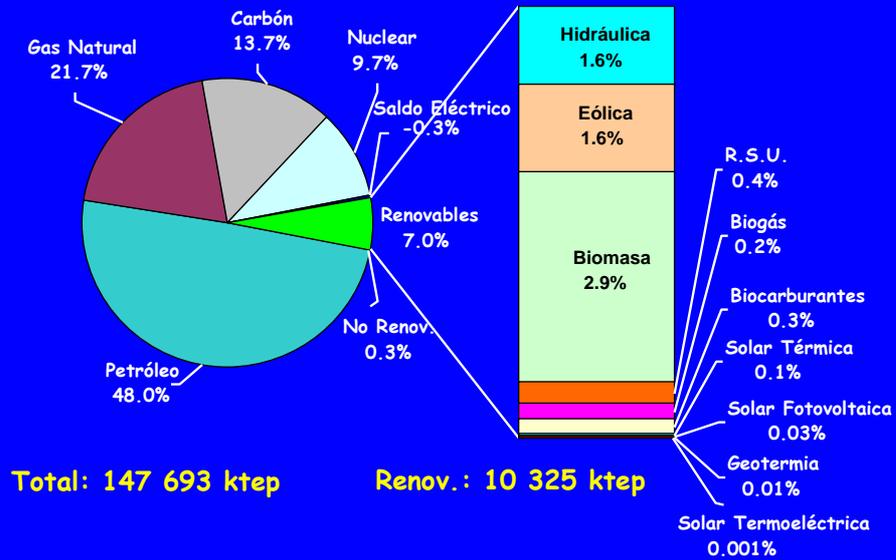
Fuentes de recursos biomásicos

- Residuos forestales: tratamientos silvícolas, podas, limpieza matorrales
- Residuos agrícolas: leñosos (podas: olivos, frutales, viñedos) y herbáceos (paja de cereales)
- Residuos de industrias forestales (transformación de la madera: serrín, cortezas) y agrícolas (industria del aceite, frutos secos)
- Cultivos energéticos: leñosos (chopo, eucalipto, sauce), herbáceos (cardo, soja, colza)
- Residuos biodegradables de industrias ganaderas, industrias agroalimentarias, y procedentes de actividades urbanas (biogás de EDARs y R.S.U)

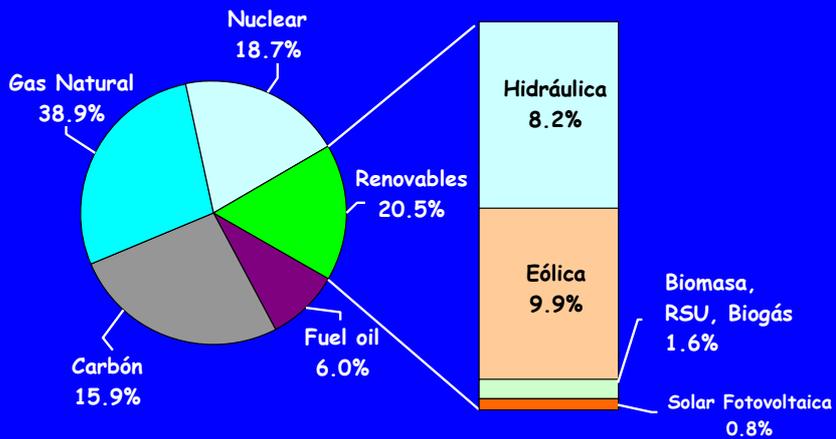
BIOMASA: Ventajas y Desventajas

- **Sustitución** de los combustibles fósiles: Contaminación, agotamiento de las reservas, inestabilidad del futuro suministro.
- **Es una fuente energética limpia.** Las emisiones de dióxido de carbono que se producen, se pueden considerar como neutras debido a que el CO_2 que se expulsa a la atmósfera, es el que previamente la planta ha estado transformando mediante el proceso de fotosíntesis.
- **Se genera continuamente**, estando presentes en todos los países, desarrollados o no. El fomento del uso de la biomasa en países subdesarrollados puede ayudar a la reducción de la deuda externa de los mismos, debido fundamentalmente a la disminución del gasto energético en la balanza comercial.
- Se encuentra **muy distribuida**. Ventaja desde el punto de vista social. Zonas rurales, con elevada tasa de paro. Tierras no cultivadas (PAC).
- **Desventajas:** Baja densidad energética, alto contenido en humedad, dispersión (costes de transporte), corto periodo de almacenamiento (degradación de la materia orgánica), monocultivos (plagas), grandes superficies de cultivo.

Participación de la biomasa en el balance de Energía Primaria (España 2007)



Producción de Energía Eléctrica por Fuentes (España 2008)



Objetivos de Consumo de Energías Renovables (Año 2010)

E. Primaria (%)		Electricidad (%)		Biocarburantes (%)	
U.E.	España	U.E.	España	U.E.	España
12	12.1	22.0	30.3	5.75	5.83

- *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). Plan de Acción 2005-2007*
- *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 1999-2010*
- *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010 (Emisiones de CO₂ evitadas: 77 Mt)*
- *Nuevo Plan Energías Renovables 2011-2020*

Objetivos de crecimiento energético para la biomasa en términos de potencia eléctrica

PER 2005-10: objetivos (MW)	
<i>Generación distribuida</i>	
<i>Desglose por tipo de recurso</i>	
Residuos forestales	60
Residuos agrícolas leñosos	100
Residuos agrícolas herbáceos	100
Residuos de industrias forestales	100
Residuos de industrias agrícolas	100
Cultivos energéticos	513
Total generación distribuida (MW)	973
<i>Co-combustión (MW)</i>	
Total co-combustión (MW)	722
<i>Total generación eléctrica con biomasa</i>	
TOTAL (MW)	1.695

Grado de cumplimiento

→ 8.5%

→ 0%

BIOMASA: ¿Por qué se incumplen las previsiones de uso?

- ❑ La dificultad de garantizar el suministro del combustible en cantidad, calidad y precio.
- ❑ La logística del combustible: recogida, tratamiento, almacenaje y transporte.
- ❑ Complejidad de las instalaciones - fiabilidad de las tecnologías - garantías de rendimiento y disponibilidad.
- ❑ Alto coste de las inversiones.
- ❑ Costes de Operación y Mantenimiento elevados.
- ❑ Falta de un escenario claro de apoyo a la Biomasa (necesidad de aplicar las medidas establecidas en los planes de fomento de las EERR).
- ❑ **Clave en la falta de viabilidad** de los proyectos de Biomasa: Precio de venta de la energía. Hoy es una tarifa claramente insuficiente como para soportar las inversiones, los costes de operación.

El crecimiento de potencia en el área de biomasa está condicionado a la revisión de las primas e incentivos establecidos para la producción de energía eléctrica con biomasa, así como a la incorporación de las instalaciones de co-combustión dentro del Régimen Especial.



LEY 24/2005, de 18 de noviembre (BOE 19 de Noviembre)

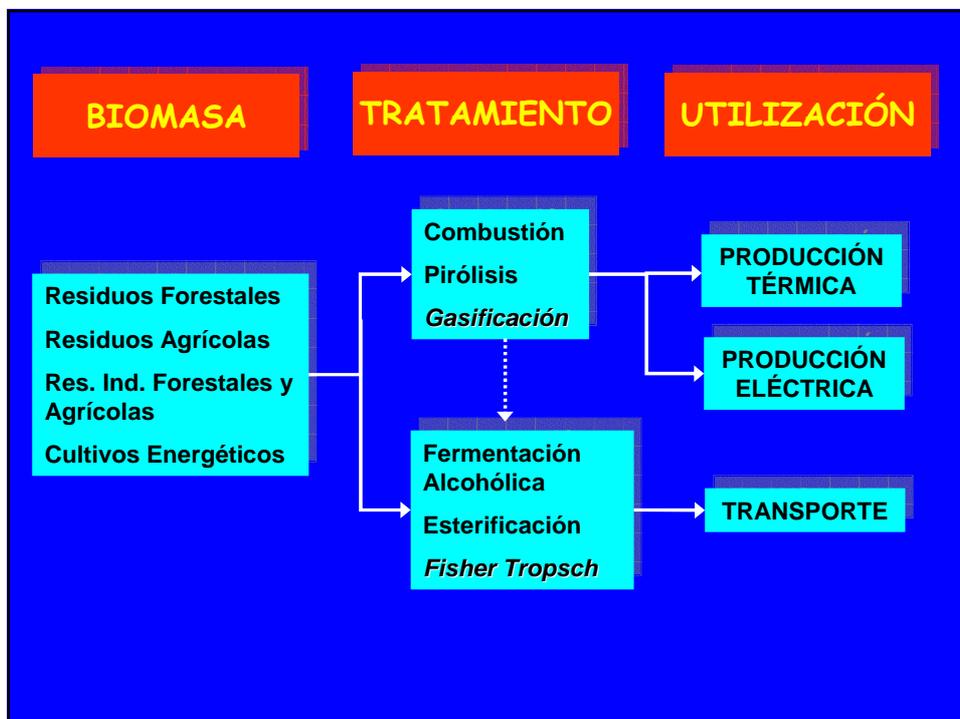


Artículo 3º. Fomento de la co-combustión. "... derecho a la percepción de una prima de aquellas instalaciones de producción de energía eléctrica de origen térmico del régimen ordinario cuando, además de utilizar el combustible para el que fueron autorizados, utilicen también biomasa como combustible secundario".

Artículo 4º. Fomento de la biomasa. "Excepcionalmente, el Gobierno podrá autorizar primas superiores a las previstas en el párrafo anterior para las instalaciones que utilicen como energía primaria energía solar o biomasa. A los efectos de la presente Ley, no se entenderá como biomasa los residuos sólidos urbanos ni los peligrosos".

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Sustituye al RD 436/2004. Centrales térmicas convencionales de carbón y gas pueden consumir también biomasa o biogás, cobrando una prima por ello.

USO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA



HOGARES DE COMBUSTIÓN

*CALDERAS DE COMBUSTIÓN
EN PARRILLA*

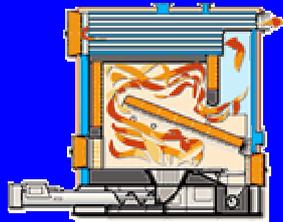
Hogares de Combustión

Quemador de inyección (quemador en cascada)

- Polvo, serrín, virutas
- Humedad < 15%
- Cenizas < 1%



De alimentación inferior

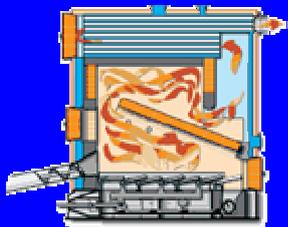


Inglaterra (1838)

- Virutas, briquetas, astillas
- Humedad < 35%
- Cenizas < 1%



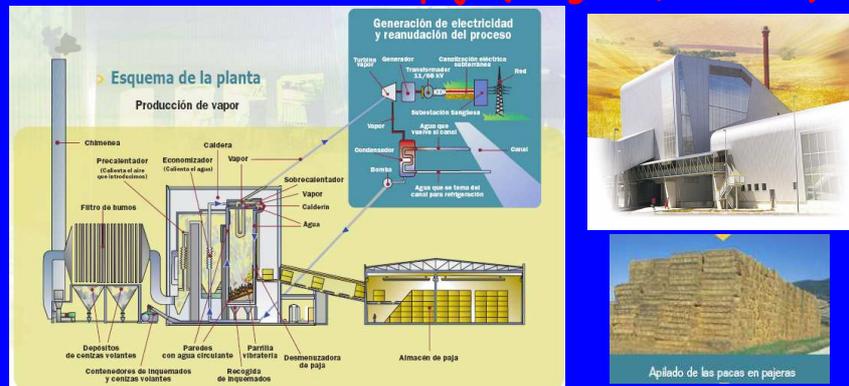
De parrilla móvil: horizontal o inclinada



- Residuos silvicultura, forestales, podas, industriales, pelets
- Humedad < 55%
- Cenizas > 1%

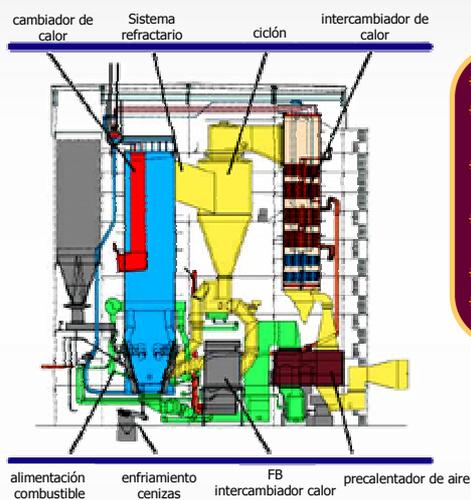


Planta de combustión de paja (Sangüesa, Navarra)



- Instalación de 25 MW de potencia instalada (tipo parrilla vibratoria), que utiliza como combustible paja de cereal para producir electricidad. Se necesitan 160000 t/año de paja como combustible. En el futuro, podrá complementarse el suministro con residuos madereros (hasta el 50%).
- La planta produce 200 millones de kWh al año, que supuso casi el 5% del consumo eléctrico de Navarra en 2005. Funciona 8000 h/año, evitando 200000 t CO_2 /año.

CALDERAS DE COMBUSTIÓN EN LECHO FLUIDIZADO



Alstom, CFB 250 MW

Lecho Fluidizado Circulante (CFB)

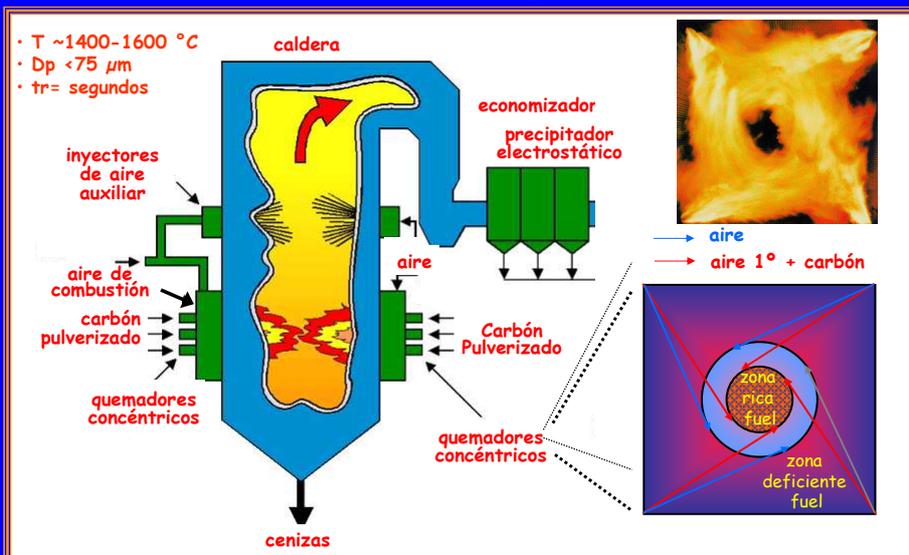
- * Más de 500 plantas en todo el mundo
- * Unidades en servicio desde hace más de 28 años
- * Unidades en servicio de hasta 300 MWe (en construcción 460 MWe supercrítica)
- * Ciclos con vapor en condiciones sub y supercríticas
- * Alta disponibilidad
- * Diversidad de combustibles

Lecho Fluidizado Circulante, 50 MWe
La Pereda, Asturias



CALDERAS DE COMBUSTIÓN DE CARBÓN PULVERIZADO

Combustión en Calderas de Carbón Pulverizado: Quemadores de bajo NOx





MÉTODOS DE
CO-COMBUSTIÓN
CARBÓN/BIOMASA

· DIRECTO

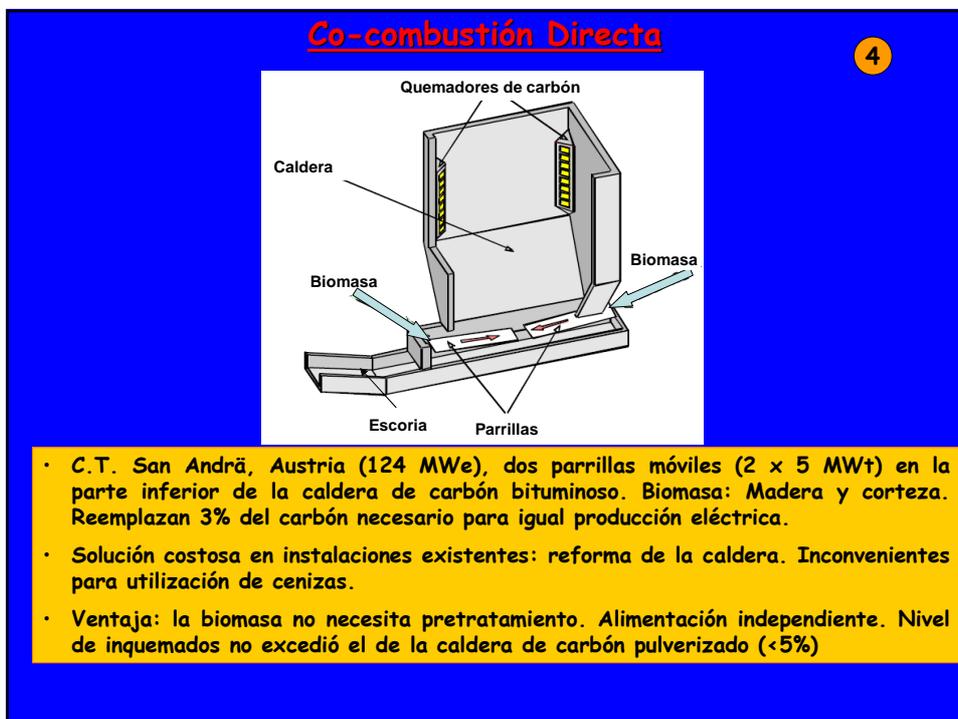
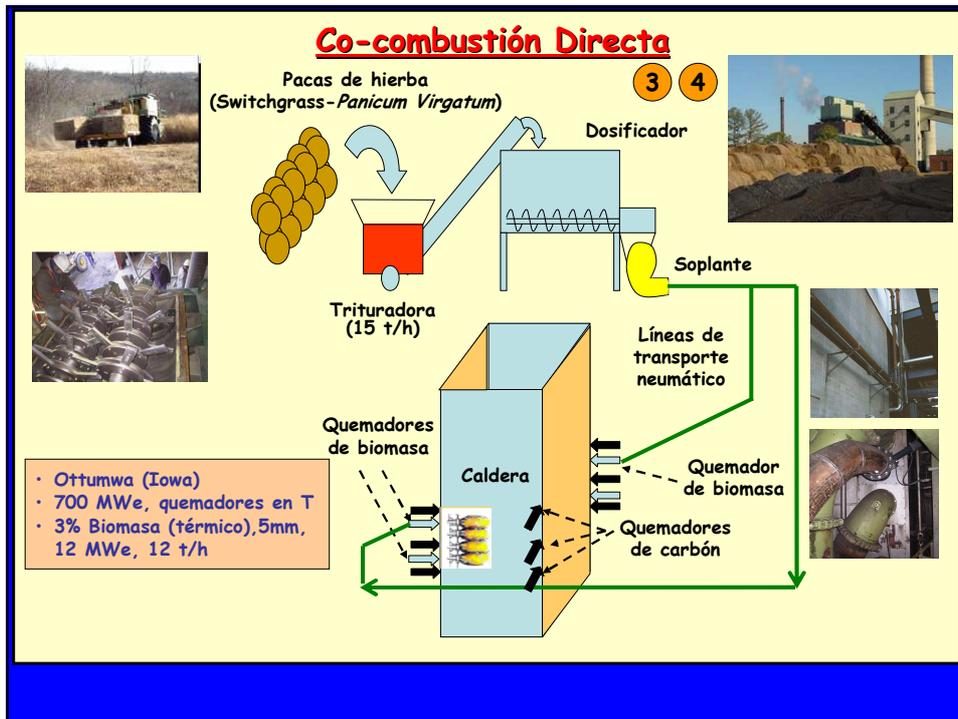
· PARALELO

· INDIRECTO
(Gasificación
de la biomasa)

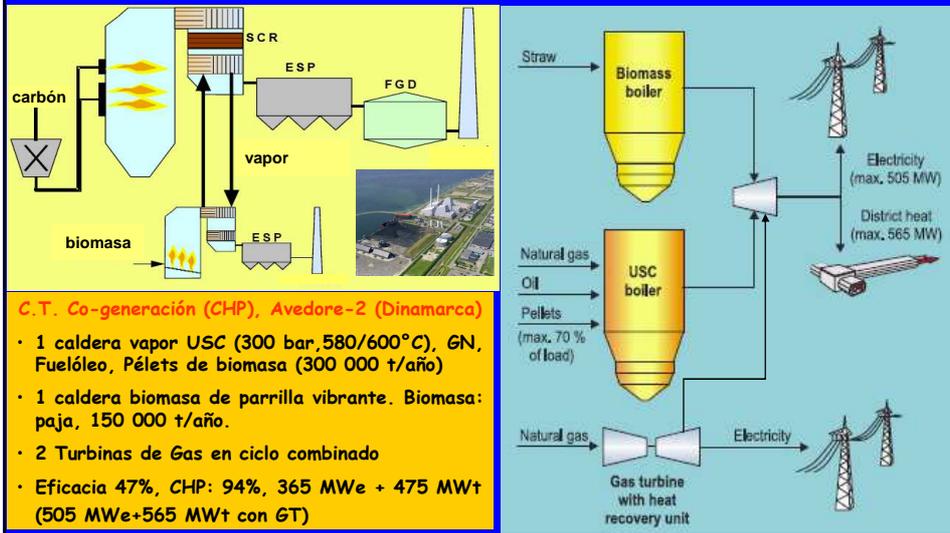
· Mezcla

· Independiente





Co-combustión en Paralelo

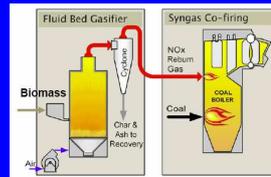
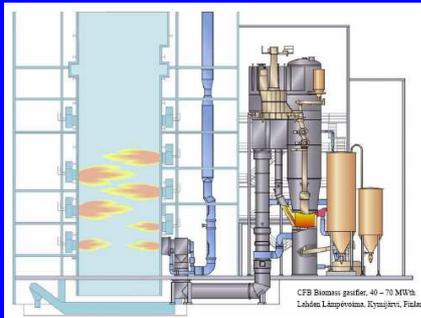


C.T. Co-generación (CHP), Avedøre-2 (Dinamarca)

- 1 caldera vapor USC (300 bar, 580/600°C), GN, Fuelóleo, Pélets de biomasa (300 000 t/año)
- 1 caldera biomasa de parrilla vibrante. Biomasa: paja, 150 000 t/año.
- 2 Turbinas de Gas en ciclo combinado
- Eficacia 47%, CHP: 94%, 365 MWe + 475 MWt (505 MWe+565 MWt con GT)

Co-combustión Indirecta

Central de Kymijärvi, Lahti (Finlandia)

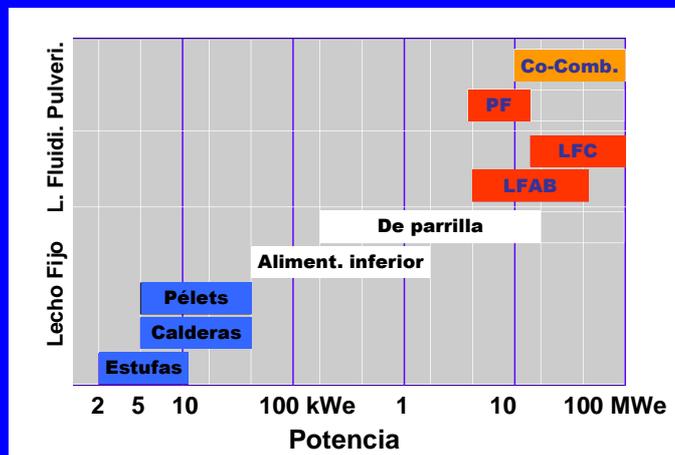


C.T. Co-generación (CHP), Lahti (Finlandia)

- Gasificador de LFAC, aire, 40-70 MWt, alimenta gas a caldera de carbón pulverizado de 167 MWe/240 MWt. Desde 1998.
- Reemplaza hasta el 30% del carbón de la caldera CP.
- Combustible del LFC: serrín, todo tipo de restos de madera, residuos municipales, con 20-50% humedad.



Tamaño de calderas de biomasa y de co-combustión



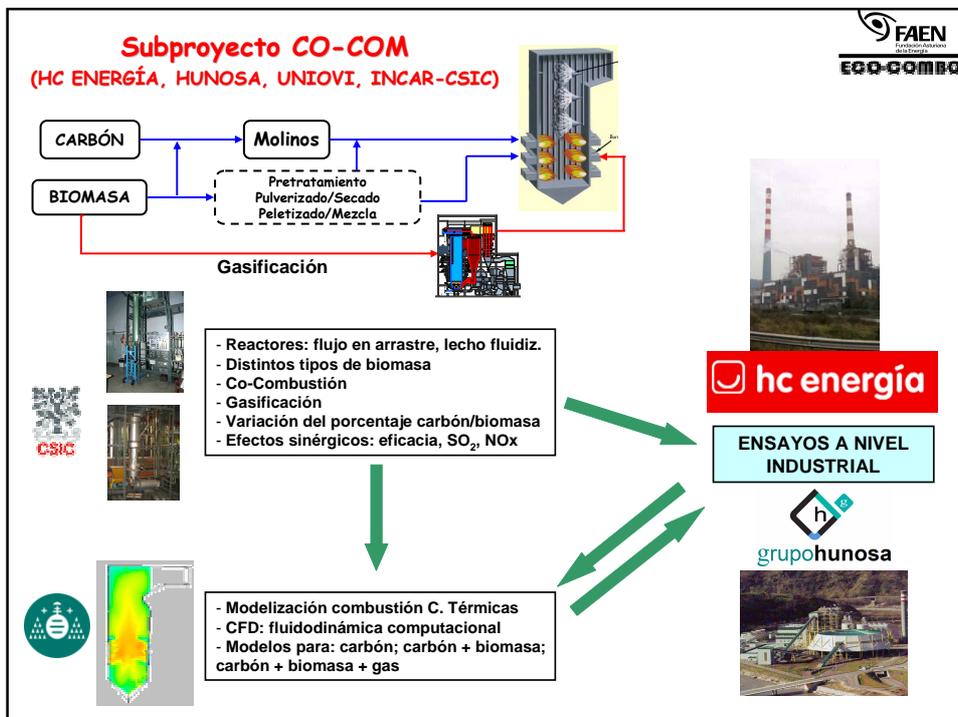
ECO-COMBOS



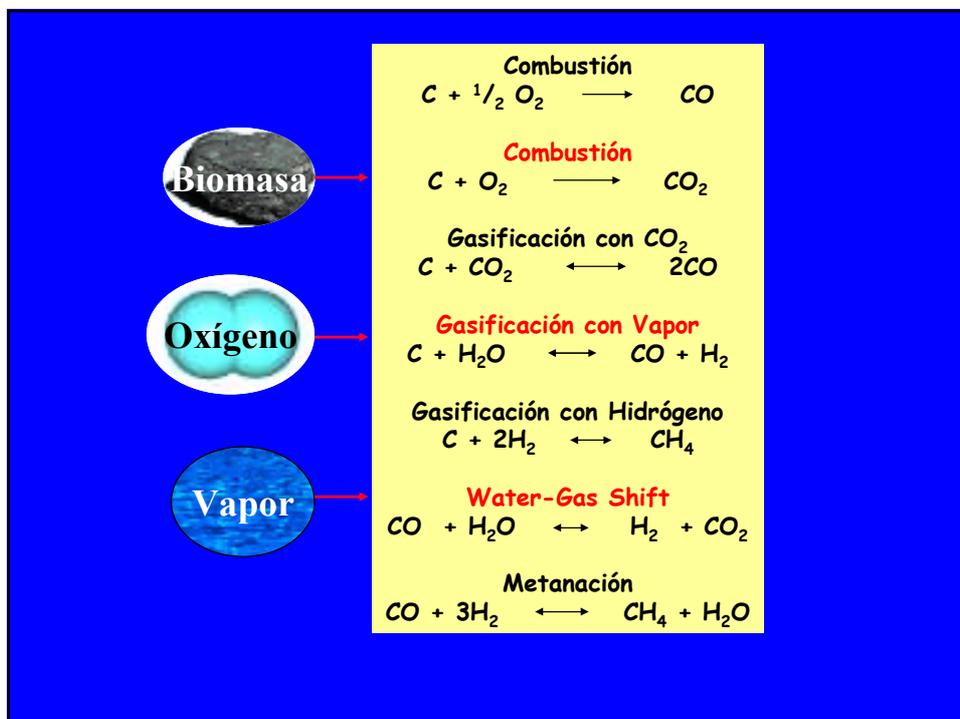
DESARROLLO TECNOLÓGICO EN TODA LA CADENA DE VALOR DE EQUIPAMIENTOS PARA CO-COMBUSTIÓN DE MATERIAS PROCEDENTES DE OPERACIONES EN BOSQUES

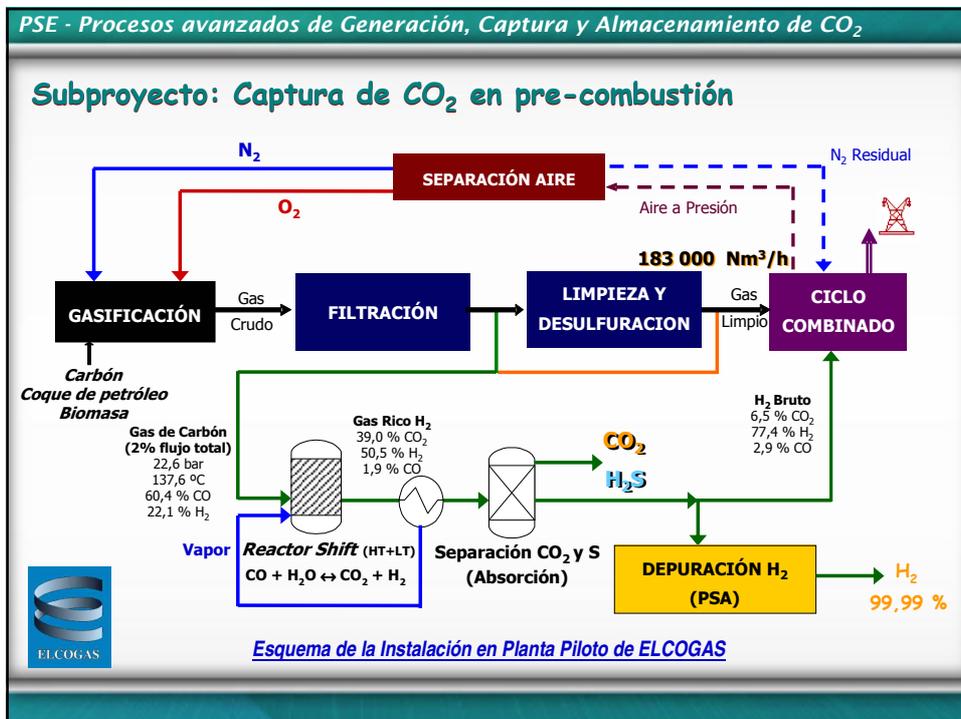
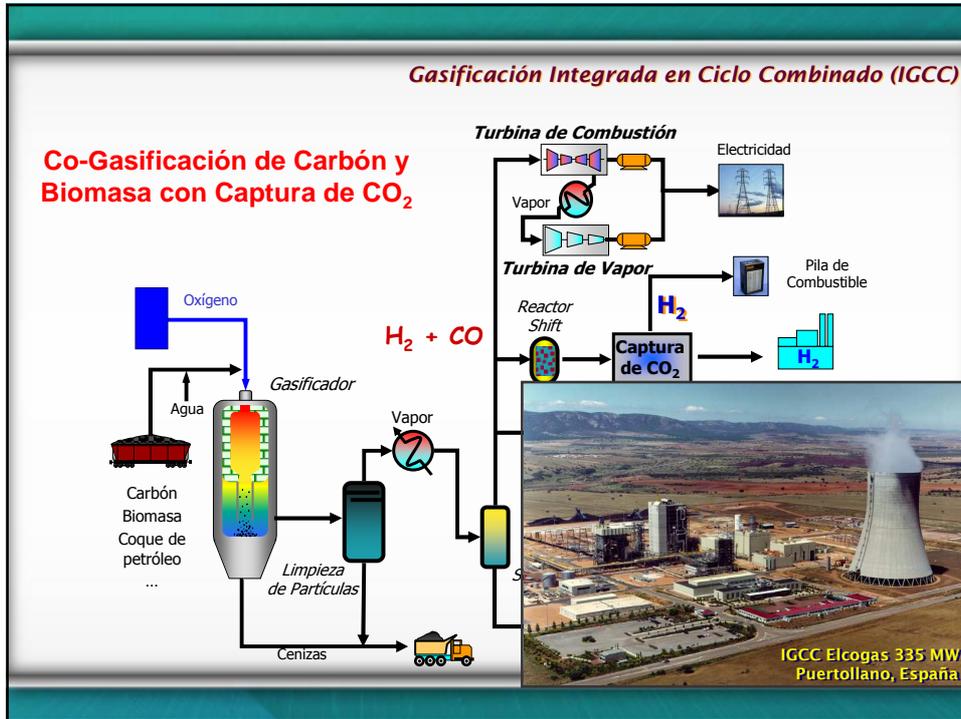
Estructurado en seis subproyectos con un consorcio de 13 participantes:

- **MAP:** Maquinaria de gestión de biomasa forestal residual de alta productividad.
- **LOGIFOR-TRAZADOR:** Optimización de la logística y gestión de la biomasa forestal residual como materia prima para la elaboración de combustibles. Trazabilidad de biomasa forestal residual.
- **CO-COM:** Definición de procesos de co-combustión en caldera.
- **BIOCUL:** Técnicas de cultivo forestal aplicadas a la Biorremediación y uso de suelos marginales para garantizar el suministro de biomasa.
- **BIOSOL:** Peletización y otras alternativas de alimentación de biomasa en calderas.
- **OT:** Oficina técnica y de gestión del proyecto.



GASIFICACIÓN

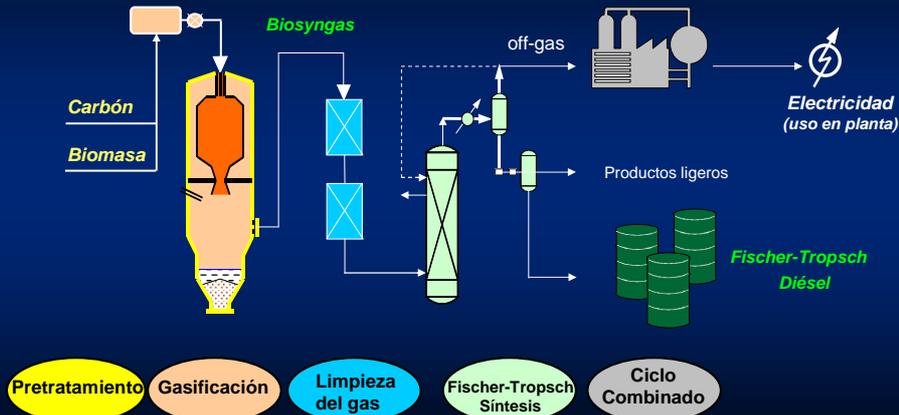




Producción de biodiésel vía gasificación



Co-gasificación de carbón y biomasa a líquidos Fisher-Tropsch



PROYECTO CENIT PIIBE



La demanda de biocombustibles impulsa las importaciones alimentarias en todo el mundo



Biofuels: the answer to climate change?



What about the hidden costs?







Biocombustibles 2G



1G: maiz, caña



3G: algas marinas, "plantas primitivas"



2G: hojas, residuos forestales



4G: organismos fotosintéticos: microalgas



REDUCCIÓN DE EMISIONES EN CENTRALES EXISTENTES: EFICIENCIA Y COCOMBUSTION

Fernando Rubiera González
Instituto Nacional del Carbón (C.S.I.C.)
Grupo de Procesos Energéticos y Reducción de Emisiones
frubiera@incar.csic.es



Fronteras de la Energía, Benasque - 7 de Julio de 2009