

Seminario

Organizado por el
Consejo Social de la
Universidad Politécnica
de Madrid

5 de noviembre, 2008

Parainfo del Rectorado
de la UPM

Avda. Ramiro de Maeztu, 7



EL PAPEL DEL CARBÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO ESPAÑOL ¿CARBÓN SIN CO₂?

TECNOLOGÍAS CAC CAPTURA DE CO₂

por
Juan C. Ballesteros



ÍNDICE

Tecnología CAC

- 📁 **Captura de CO₂**
- 📁 **Transporte de CO₂**
- 📁 **Almacenamiento de CO₂**
- 📁 **Aspectos regulatorios**

📁 **ENDESA Generación y la tecnología CAC**

📁 **Conclusiones**

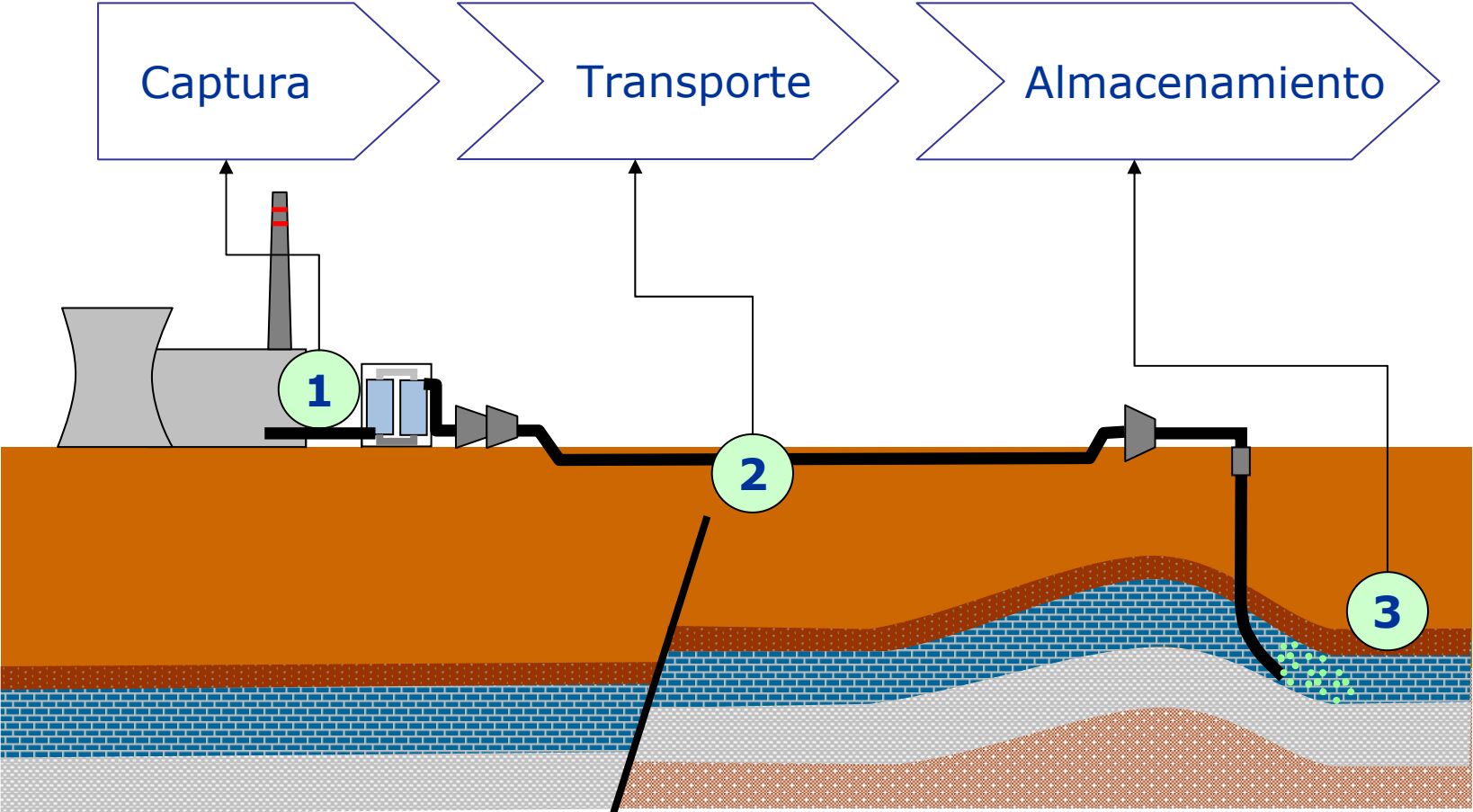
Carbón sostenible y cambio climático

➤ Emisiones CO₂

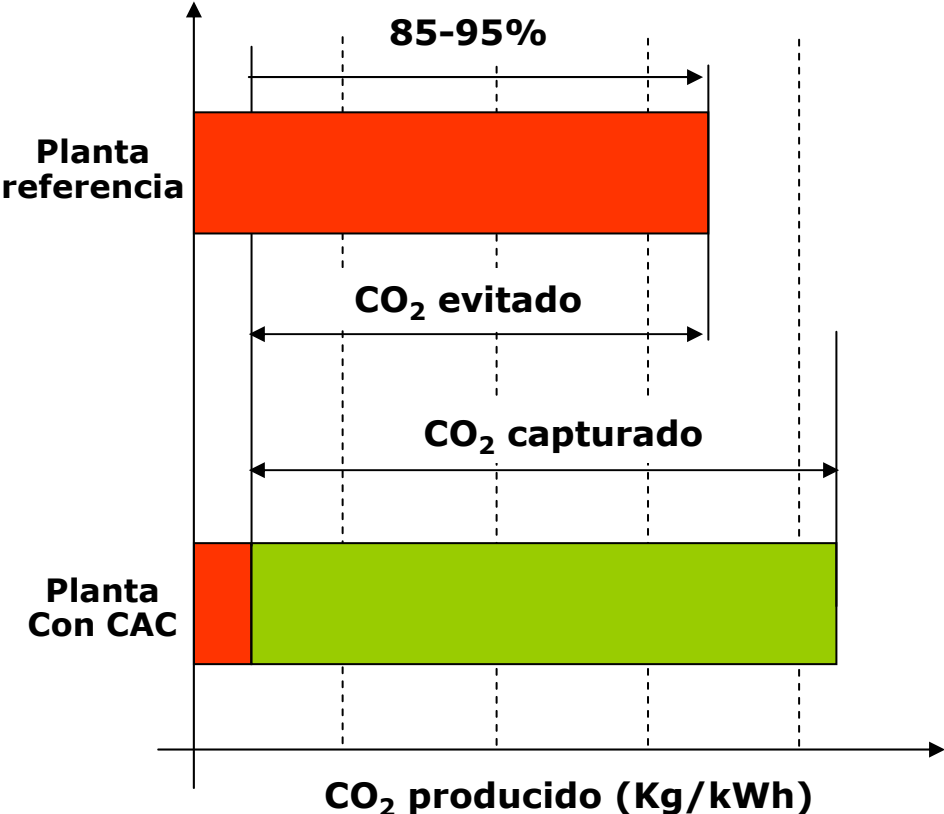
				Neto	Emisión	
			Potencia	Eficiencia	CO ₂	
Tecnología		Emplazamiento	Neta (MWe)	Combustible	mínima	g/KWh
Caldera carbón pulverizado	Subcrítica (P< 22.1 Mpa)	Costa	665,0	Carbón del 0.6%	38,00	858
			665,0	Carbón del 0.6%	39,00	871
		Interior a 200 km y 580m sobre n m	651,0	Carbón del 4%S	37,00	855
			658,0	Carbón del 1% S	37,00	938
	Supercrítica (P>22.1 Mpa)	Costa, ampliación	665,0	Carbón del 0.6%	43,00	758
			665,0	Carbón del 0.6%	46,00	739
		Interior a 200 km y 580m sobre n m	651,0	Carbón del 4%S	44,00	722
			658,0	Carbón del 1% de S	45,00	774
Ciclos combinados	Gas	Costa	445,0	Gas Natural	59,21	348
		Interior a 200 km y 580m sobre n m	420,0	Gas Natural	59,17	368
GICC	ELCOGAS	Interior 700 m	282,0	C+coque	42,20	714
Lecho fluido	Subcrítico	Interior	218,0	Lignito	37,00	850
	Supercrítico	Interior 270m sobre nm Tmedia 7.8°C	454,0	Subitumi 1.2% S	46,00	728

□ **TECNOLOGÍA DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂ (CAC)**

La tecnología de CAC cuenta con tres etapas



CO₂ capturado y CO₂ evitado:



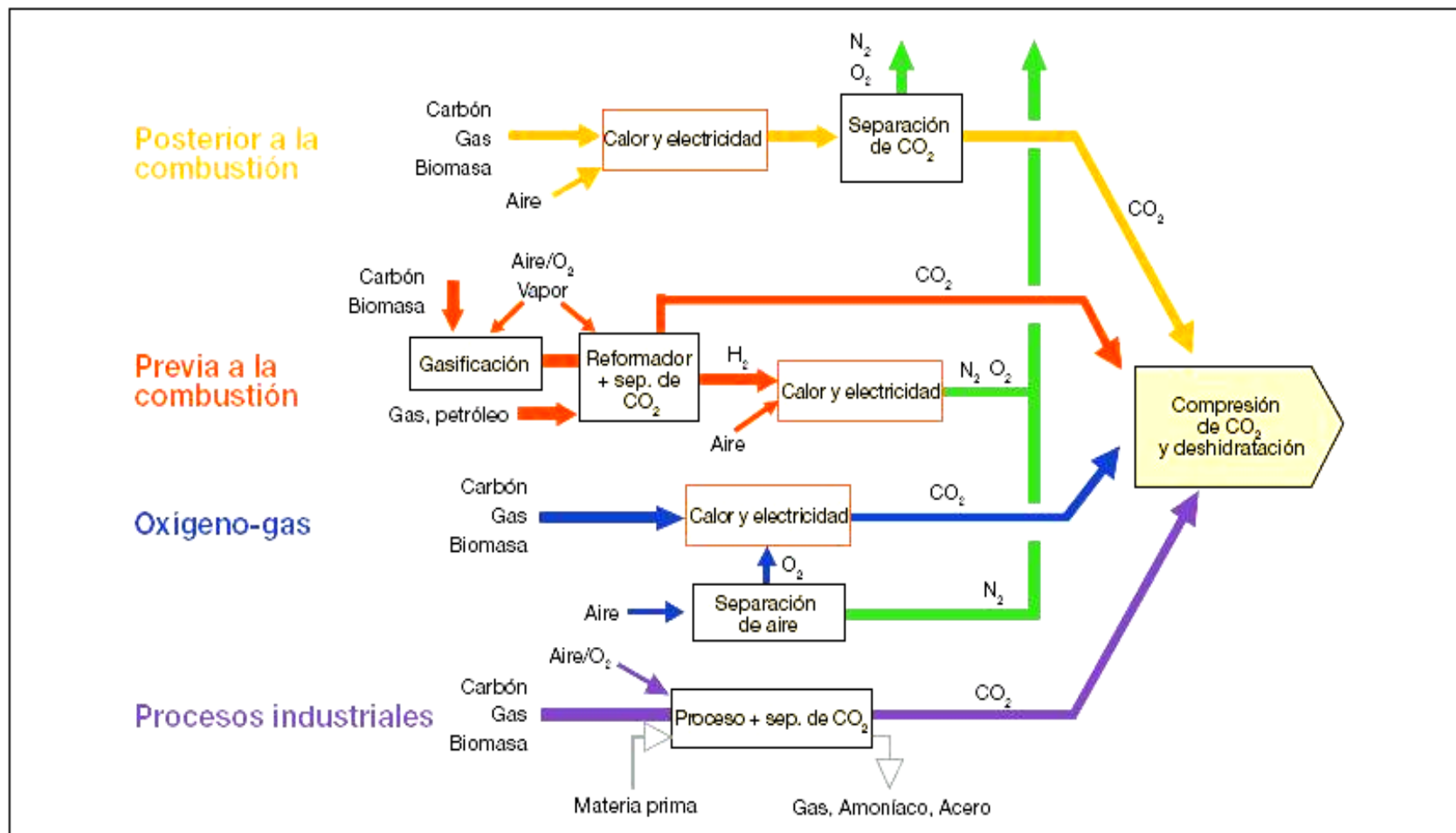
ÍNDICE

Tecnología CAC

- 📁 **Captura de CO₂**
- 📁 Transporte de CO₂
- 📁 Almacenamiento de CO₂
- 📁 Aspectos regulatorios
- 📁 ENDESA Generación y la tecnología CAC
- 📁 Conclusiones



CAPTURA DE CO₂



Visión general de los procesos y los sistemas de captación de CO₂.



CAPTURA DE CO₂

❑ POSTERIOR A LA COMBUSTIÓN

Se aplican técnicas de tratamiento de los humos de escape de la combustión.

Ventajas:

- 😊 Muchas de las tecnologías son comerciales (absorción química): sectores industriales del refino del gas, producción de urea, etc.
- 😊 Requiere menores modificaciones de centrales existentes
- 😊 Posibilidad de utilizar varios sistemas en serie, de forma

Desventajas:

- 😞 Mayor volumen de gases a tratar que en precombustión
- 😞 Presencia de impurezas: SO_x y NO_x
 - 😞 Afecta a el sistema de captura
 - 😞 Necesidad de compresión
- 😞 Necesidad de nuevas materias primas, algunas de ellas peligrosas (por su toxicidad)



CAPTURA DE CO₂

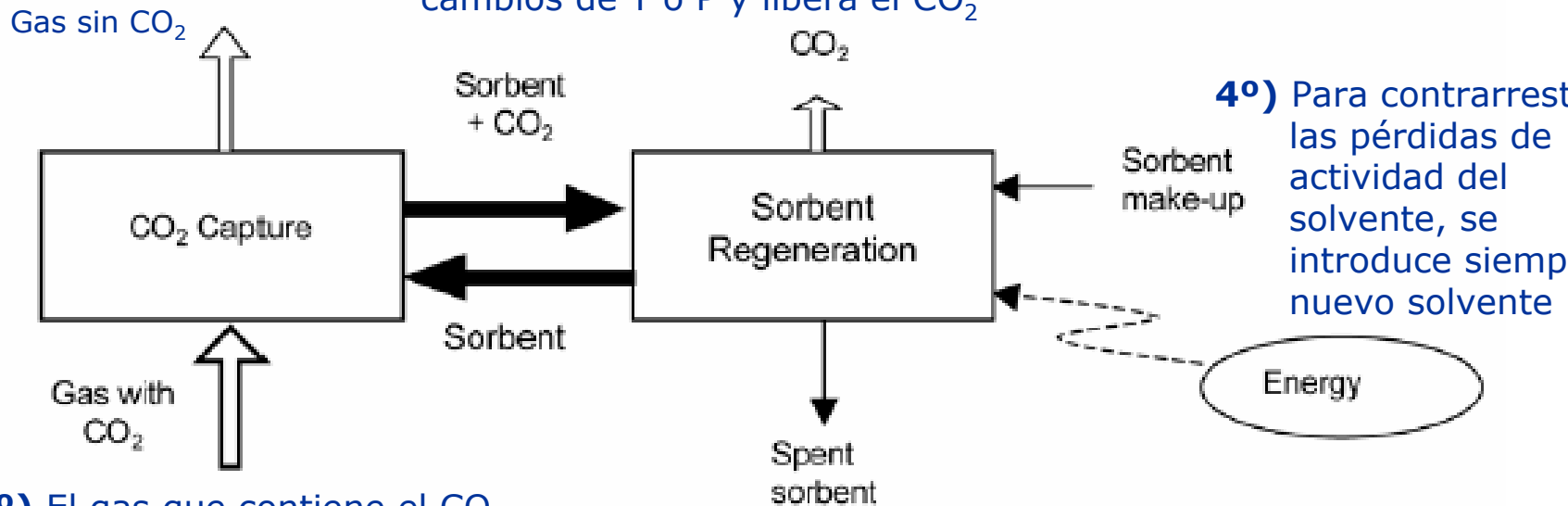
- **CAPTURA DE CO₂ POSTERIOR A LA COMBUSTIÓN**
 - ✓ **Las principales tecnologías de captura de CO₂ posteriores a la combustión son:**
 - **Absorción química**
 - **Adsorción física**
 - **Separación con membranas**
 - **Destilación criogénica**



CAPTURA DE CO₂

□ MEDIANTE ABSORCIÓN QUÍMICA

2º) El solvente cargado con CO₂ se transporta a otra torre donde se regenera mediante cambios de T ó P y libera el CO₂



1º) El gas que contiene el CO₂ se pone en contacto con un solvente líquido capaz de capturar el CO₂

3º) El solvente regenerado se envía de nuevo al proceso de captura de CO₂

4º) Para contrarrestar las pérdidas de actividad del solvente, se introduce siempre nuevo solvente

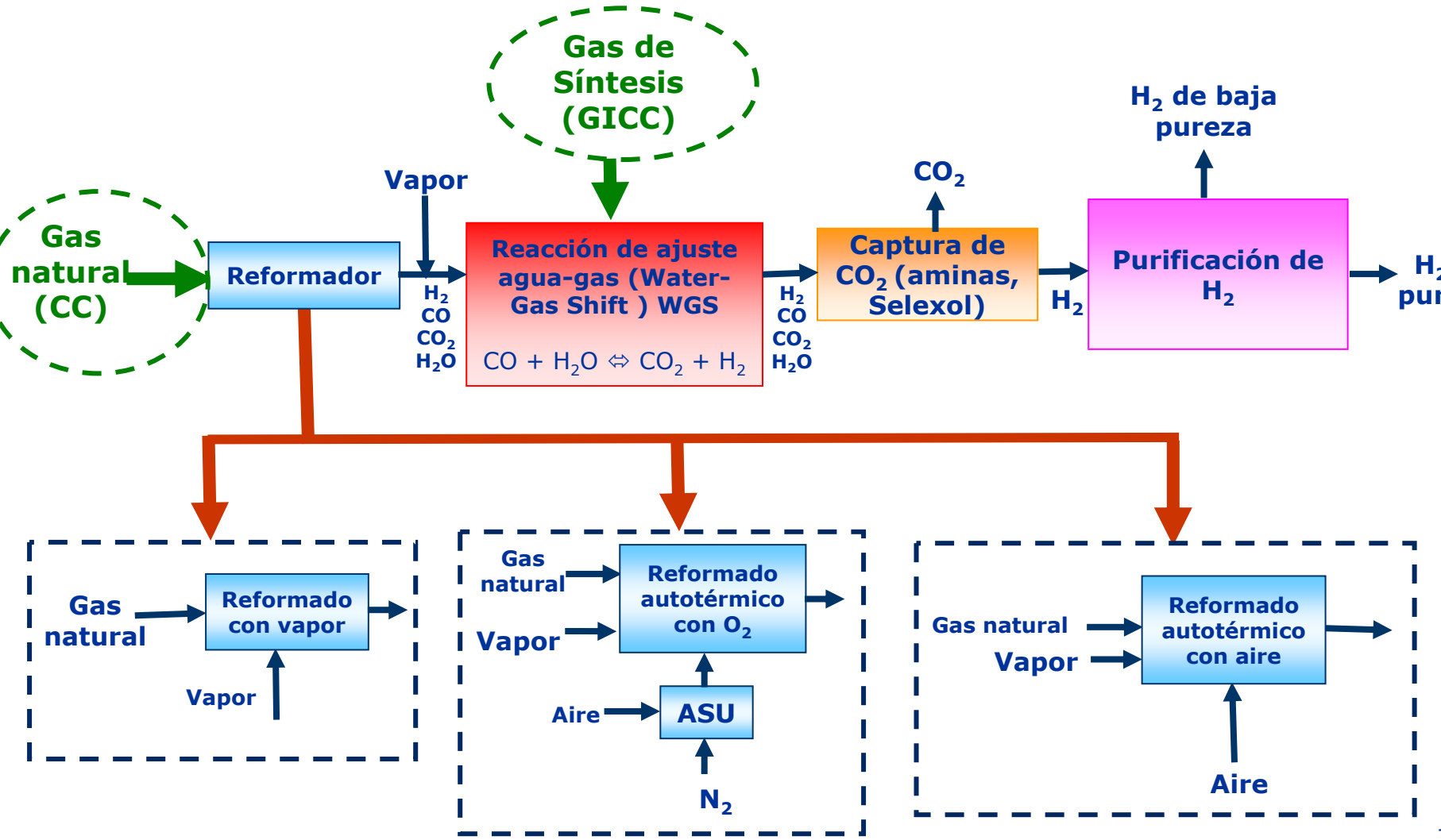


CAPTURA DE CO₂

- **CAPTURA DE CO₂ ANTERIOR A LA COMBUSTIÓN**
- ✓ **La captura de CO₂ en sistemas de pre-combustión está muy unida a la producción de hidrógeno**
- ✓ **Este tipo de captura se realiza principalmente en:**
 - **Gasificación Integrada en Ciclo Combinado (GICC)**
 - **Ciclos Combinados (CC)**

CAPTURA DE CO₂

ANTERIOR A LA COMBUSTIÓN





CAPTURA DE CO₂

❑ ANTERIOR A LA COMBUSTIÓN

Ventajas:

- ☺ La separación vía solvente químico o PSA está probada. Los humos de salida salen a mayor presión y mayor concentración de CO₂ → reduce coste de captura.
- ☺ Los costes de compresión son menores que en post-combustión
- ☺ La tecnología consigue menor cantidad de impurezas: SO_x y NO_x.
- ☺ El producto principal es el gas de síntesis → utilizado con fines comerciales
- ☺ Es posible utilizar un amplio rango de combustibles fósiles.

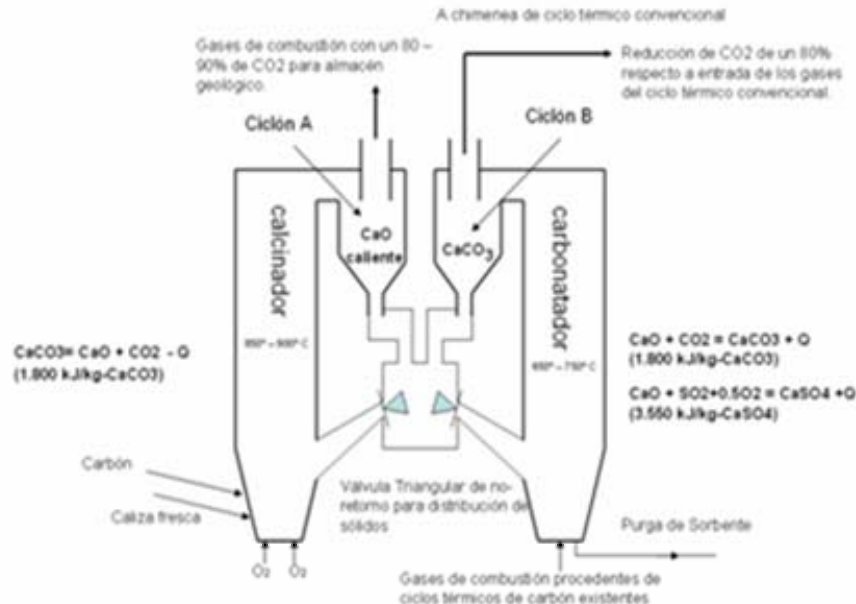
Desventajas:

- ☹ El combustible primario debe ser convertido a gas sintético previamente.
- ☹ Las turbinas de gas, calentadores y calderas deben ser modificados para la utilización de hidrógeno como combustible.



CAPTURA DE CO₂

❑ CICLOS DE CALCINACIÓN-CARBONATACIÓN



CARBONATADOR

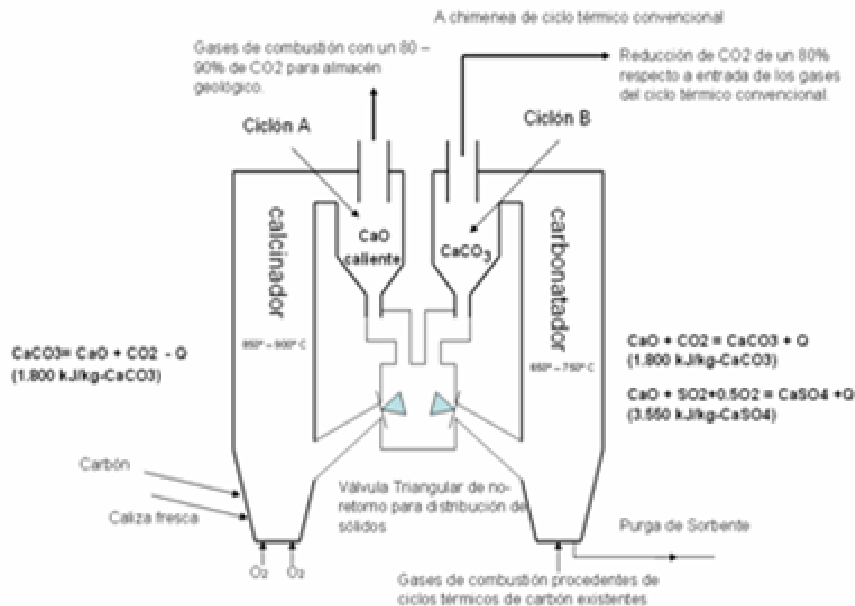
- El CO₂ de los gases de combustión se carbonata con CaO (Reacción exotérmica a unos 650°C)
- Se obtiene una corriente de gas con aproximadamente 80% menos de CO₂ nada de SO₂
- Se obtiene una corriente de sólidos de CaCO₃, CaSO₄ y CaO sin reaccionar a 650°C que se llevan al calcinador





CAPTURA DE CO₂

❑ CICLOS DE CALCINACIÓN-CARBONATACIÓN



CALCINADOR

• Entra corriente sólidos CaCO₃, CaSO₄ del Carbonatador y purga CaCO₃ frescos

• Se obtiene corriente de CaO por descarbonatación del CaCO₃

• Se obtiene corriente pura de CO₂ a 850°C que se lleva a compresión

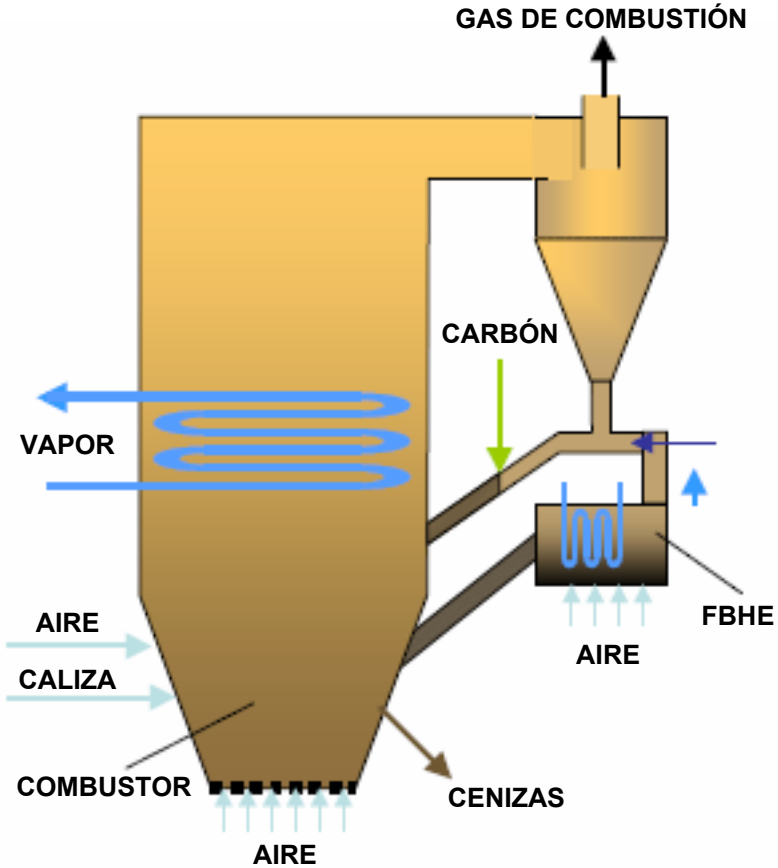
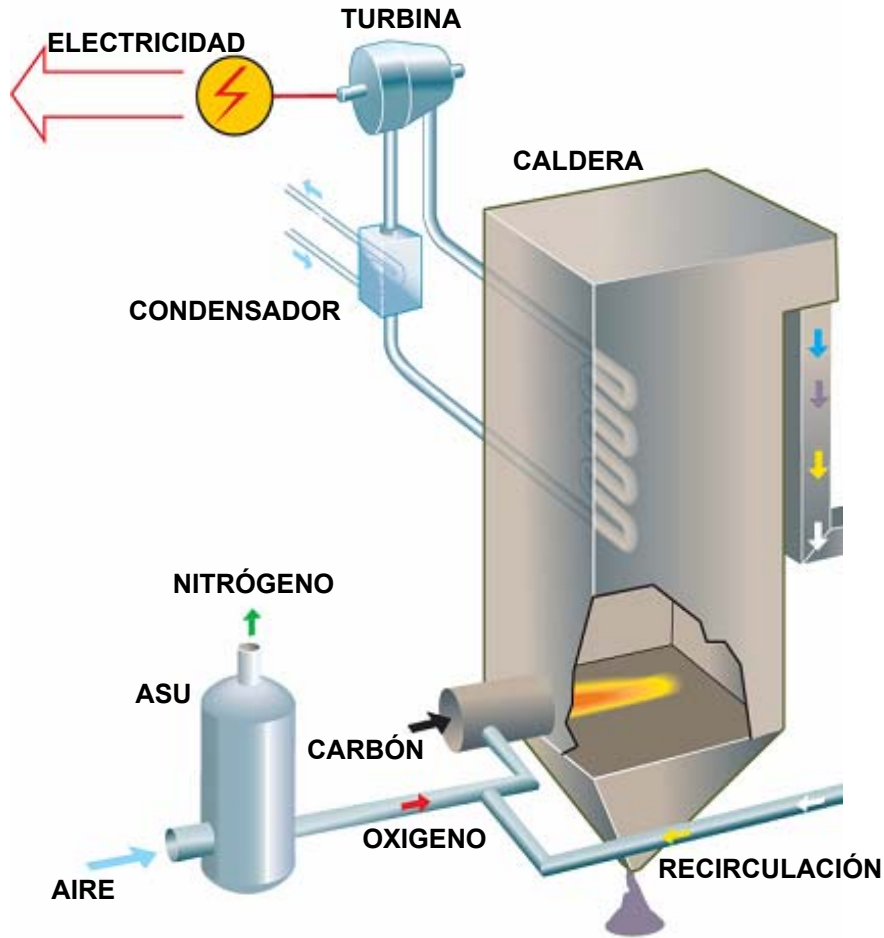
• El CaO vuelve al carbonatador iniciándose el ciclo





CAPTURA DE CO₂

Captura de CO₂ Oxidación



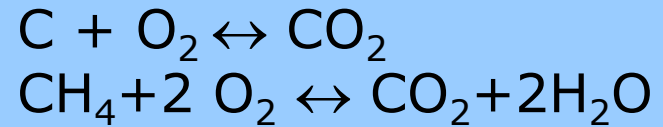


CAPTURA DE CO₂

□ CAPTURA DE CO₂ DURANTE LA COMBUSTIÓN

⇒ Oxy-combustión

- **Combustión de combustibles fósiles que emplea como comburente O₂ y como atenuador de la combustión CO₂**



➤ **Tecnología ligada a:**

- **En centrales de nueva generación ultrasupercríticas**
- **Turbinas de Gas con/sin calderas de recuperación**
- **Transformación de ciclos existentes convencionales**



CAPTURA DE CO₂

❑ OXI-COMBUSTIÓN

✓ Ventajas:

- ☺ La tecnología básica tiene ya un largo recorrido.
- ☺ Proyectos I+D en marcha actualmente.
- ☺ Reducción del caudal de gases:
 - ☺ Reducción de volúmenes de hogar y calderas. → \$
 - ☺ Reducción de los costes de separación, compresión y almacenamiento.
- ☺ Generación de corriente rica en CO₂ hasta 90 – 95% y pobre en NO_x reduciendo el 60 – 70%.
- ☺ Mejora de transferencia de calor especialmente por mayores contenidos en CO₂ y temperatura.

✓ Desventajas:

- ☹ Aumento de inquemados.
- ☹ Necesita una unidad de separación de aire → costes elevados.
- ☹ I+D en aspectos operativos y de mantenimiento.
- ☹ Degradación de zonas de radiación por corrosión



CAPTURA DE CO₂

□ ÁREAS CRÍTICAS DE DESARROLLO

ASU

- Destilación criogénica. Consumo de auxiliares
- Membranas Cerámicas. Incrementan la eficiencia.

COMBUSTIÓN O₂

- Combustión, ignición, estabilidad de llama, temperaturas y perfiles de llama
- Volumen del hogar. Absorción térmica por unidad de superficie
- Grado de recirculación CO₂

FILOSOFÍA DE OPERACIÓN

- Flexibilidad de operación.
- Integración de la ASU.
- Disposición chorros de O₂ puro, CO₂ recirculado y transporte de carbón



CAPTURA DE CO₂

❑ ÁREAS CRÍTICAS DE DESARROLLO

EMISIONES

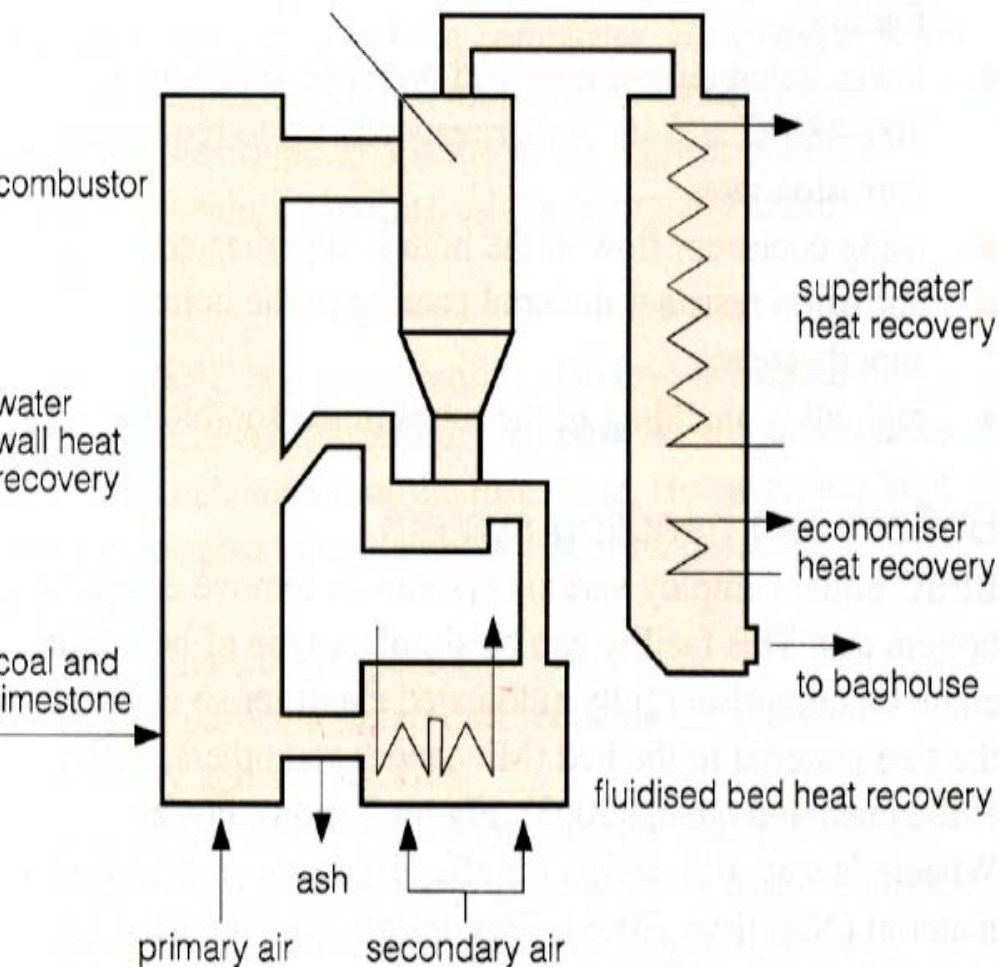
- La cinética del NO_x en llamas de carbón no es aplicable
- Cinética del SO₂
- Composición de las cenizas

MATERIALES

- Propiedades de operación a largo plazo y altas temperaturas
- Ensayos de materiales avanzados Ultrasupercríticas
- Potencial de corrosión para carbones con altos contenidos e cenizas, S, Cl

CAPTURA DE CO₂

CLFA



Parámetros de proceso

- Velocidad de fluidificación

2 - 8 m/s

- Tamaño de partícula

Lecho \approx 150 μ m

Carbón 0-6 mm

Caliza 100-300 μ m

- Temperatura del lecho

800-900 °C

- Ratio circulación de sólidos

5-20

- Ratio de aire primario-secundario

60-70-80 / 40-30-20



CAPTURA DE CO₂

❑ OXI-COMBUSTIÓN CLF

✓ **Ventajas:**

- ☺ Condiciones de funcionamiento de caldera similar a las centrales actuales (temperatura, gradientes de transferencia...)
- ☺ Tecnología más fiable y segura debido al mejor control de la temperatura y transferencia de calor
 - ☺ Reducción de los costes de separación, compresión y almacenamiento.
 - ☺ Flexibilidad en el uso de combustible
- ☺ Generación de corriente rica en CO₂ hasta 90 – 95% y pobre en NO_x
- ☺ Desulfuración de gases integrada en el proceso

✓ **Desventajas:**

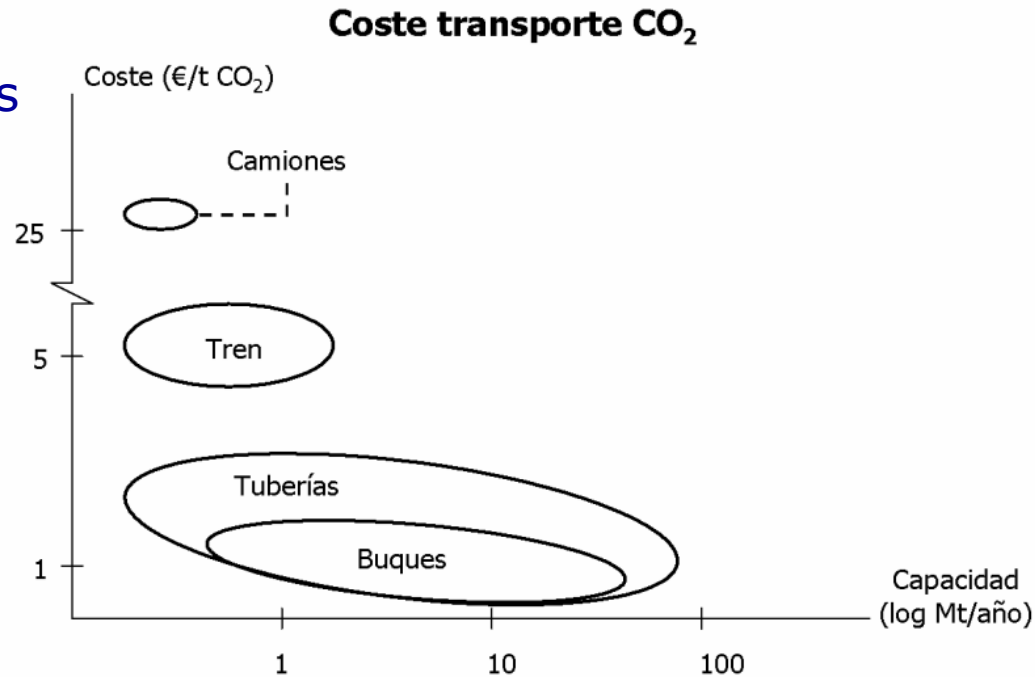
- ☹ Diseños específicos y escalados para gran extracción de calor del material sólido del lecho.
- ☹ Diferentes esquemas de fluidificación
- ☹ Necesita una unidad de separación de aire → costes elevados.
- ☹ Corrosión baja temperatura para carbones con alto contenido cenizas, S

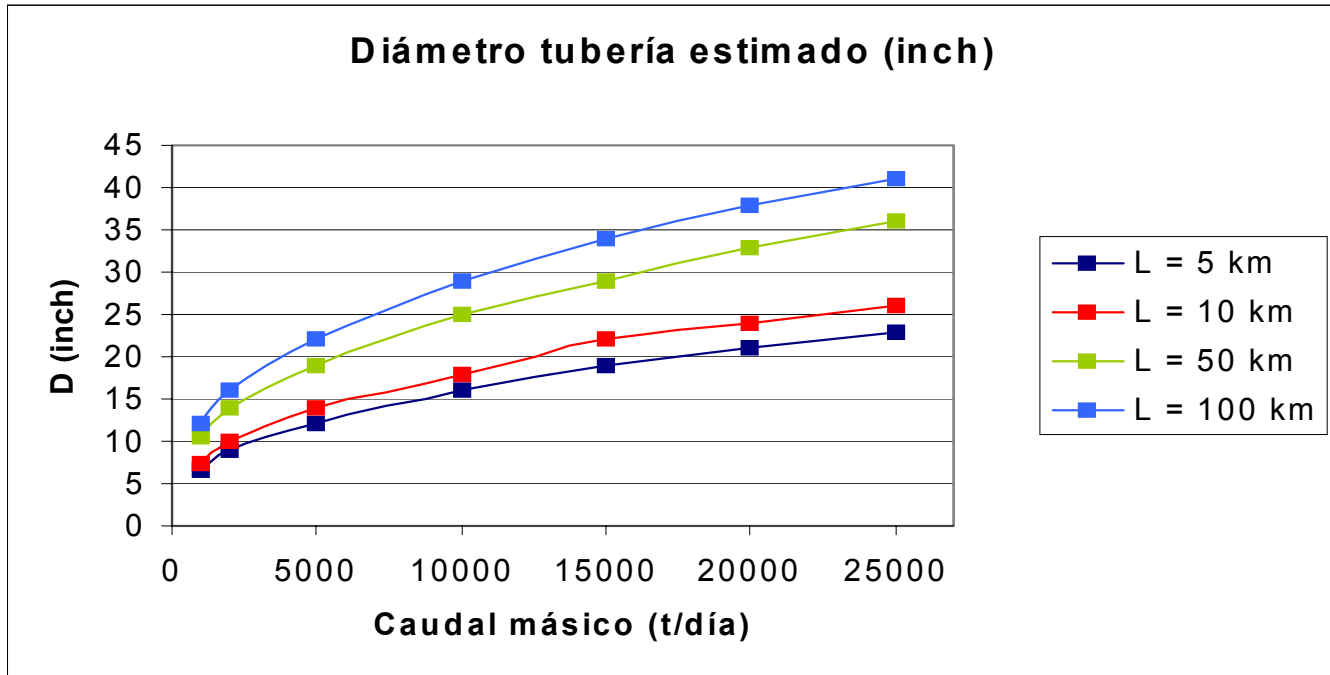
ÍNDICE

Tecnología CAC

- 📁 Captura de CO₂
- 📁 **Transporte de CO₂**
- 📁 Almacenamiento de CO₂
- 📁 Aspectos regulatorios
- 📁 ENDESA Generación y la tecnología CAC
- 📁 Conclusiones

- > Transporte continuo:
 - Tuberías
- > Transporte discontinuo:
 - Barcos
 - Trenes
 - Camiones





1. *Diámetro = f(caudal másico a transportar y la longitud del ceoducto).*

2. Ejemplo

✓ C.T. de carbón 1000 MWe y η : 45 % en b.c.

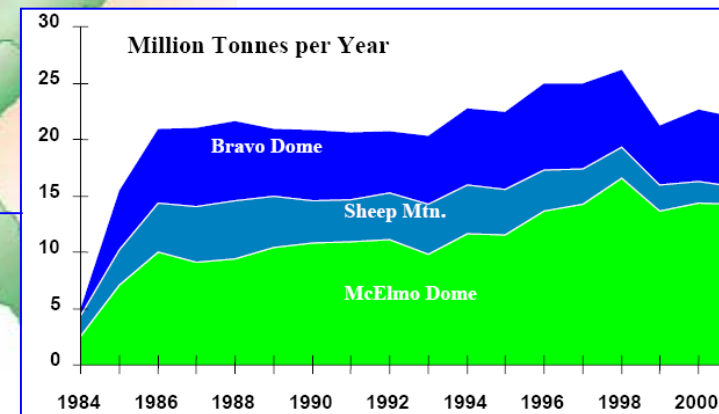
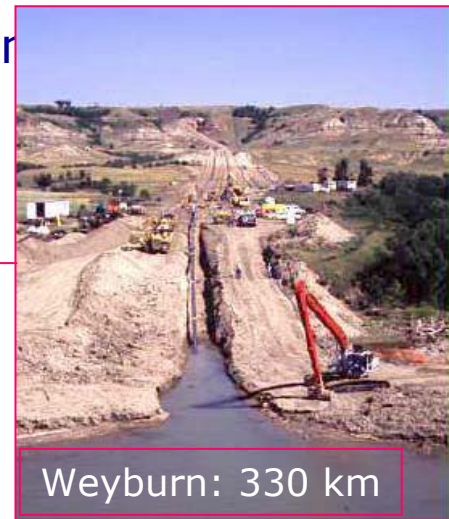
✓ Plena carga : 18.000 t CO₂ /día

✓ Diámetro > 16 pulgadas

CO ₂	> 95%
N ₂ + O ₂ + Ar	< 4%
Agua	< 500 ppm
SOx	< 100 ppm
NOx	< 100 ppm
CO	< 200 ppm

1. Existen en la actualidad más de 3300 km de tuberías dedicadas al transporte de CO₂.

2. El principal país es EEUU → consecuencia utilización en



5 Mt/año fuentes antropogénicas, 2000
20% del suministro de CO₂-EOR

ÍNDICE

Tecnología CAC

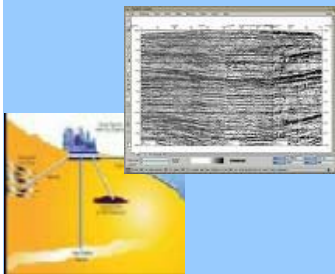
- 📁 Captura de CO₂
- 📁 Transporte de CO₂
- 📁 **Almacenamiento de CO₂**
- 📁 Aspectos regulatorios
- 📁 ENDESA Generación y la tecnología CAC
- 📁 Conclusiones

ALMACENAMIENTO DE CO₂

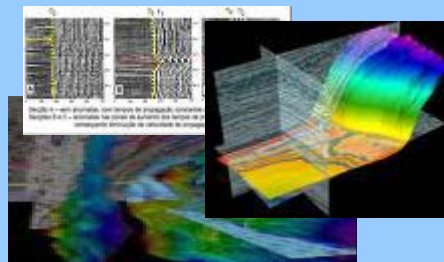
Ciclo de vida de un Proyecto de Almacenamiento de CO₂

FASE DE PRE-OPERACIÓN
Caracterización
2 - 3 AÑOS

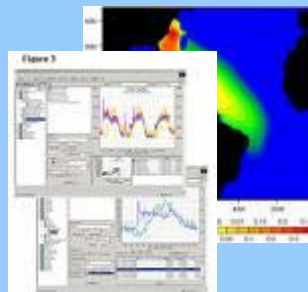
RECONOCIMIENTO DE CUENCAS



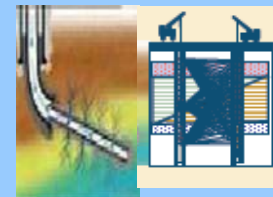
SELECCIÓN DE REGIONES



CARACTERIZACIÓN



DISEÑO DE INYECCIÓN



FASE DE OPERACIÓN

CONSTRUCCIÓN



PUESTA EN MARCHA E INYECCIÓN

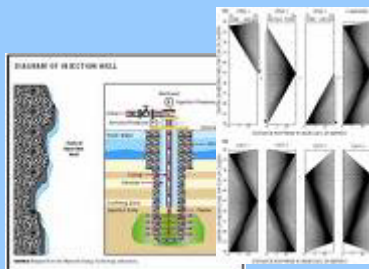


CONTROL Y MONITORIZACIÓN

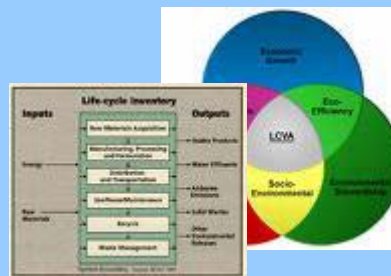


0 - 50 AÑOS

CLAUSURA Y RESTAURACIÓN



CONTROL MEDIO AMBIENTAL



TRANSFERENCIA A LA ADMINISTRACIÓN



FASE DE POST-OPERACIÓN

100 AÑOS

MONITORIZACIÓN, CONTROL, ANÁLISIS Y GESTIÓN DEL RIESGO



Ejemplos.



Source: IEA Greenhouse Gas Technology Programme

ÍNDICE

Tecnología CAC

- 📁 Captura de CO₂
- 📁 Transporte de CO₂
- 📁 Almacenamiento de CO₂
- 📁 **Aspectos regulatorios**

- 📁 ENDESA Generación y la tecnología CAC
- 📁 Conclusiones

ASPECTOS REGULATORIOS

Los criterios de selección para los 10-12 proyectos de demostración promovidos por la UE para tecnologías CAC, deberían conseguir optimizar las siguientes consideraciones:

- Consideraciones Técnicas, mediante las cuales se consiga una validación lo más amplia posible de las distintas tecnologías posibles para captura de CO₂.
- Consideraciones Económicas y de Eficiencia, orientados a disminuir la inversión necesaria por parte de las administraciones públicas y garantizar un desarrollo rápido del programa.
- Consideraciones Sociales, los cuales permitan dar a conocer y aumentar la aceptación social de estas tecnologías.

Objetivo



CAC es posible



CAC es viable



CAC es aceptado

ASPECTOS REGULATORIOS

Los 10-12 proyectos de demostración para tecnologías CAC, están sometidos a una serie de condicionantes que no los hacen económicamente rentables:

- Menor tamaño, la potencia considerada para estos proyectos es menor que el tamaño comercial para este tipo de plantas.
- Proyectos no optimizados, el objetivo de estas plantas es el demostrar la viabilidad tecnológica de las plantas CAC. Las plantas son las primeras en su diseño y por tanto no se encuentran optimizadas.
- Menor disponibilidad: Las plantas poseerán un plan de I+D con el cual se pretenderá validar los distintos modos de operación. Además se espera que las actuaciones y modificaciones en la configuración final de la planta conlleve una disminución en la disponibilidad, especialmente en los primeros años de operación.
- Menor Vida útil: Al no ser plantas optimizadas se prevé una vida útil de las mismas menor de la mitad de la considerada para un proyecto de planta convencional.
- Ausencia de efectos de escala e integración: La integración de transporte y almacenamiento de distintos proyectos de captura a nivel local disminuirá notablemente la inversión necesaria en un futuro.



Para los proyectos de demostración es necesario un apoyo por parte de las administraciones públicas

ASPECTOS REGULATORIOS

Los proyectos demo tendrán un incremento tanto en los costes de inversión como en los de operación con respecto a una planta comercial. Parte de ese incremento es compensado por la ganancia debida a los créditos de CO2:



La financiación necesaria que cubriría toda la vida del proyecto de demostración (20 años), estaría entre 400-800 M€ dependiendo del proyecto.

ÍNDICE

Tecnología CAC

- ☞ Captura de CO₂
- ☞ Transporte de CO₂
- ☞ Almacenamiento de CO₂
- ☞ Aspectos regulatorios

☞ **ENDESA Generación y la tecnología CAC**

☞ Conclusiones

PRECOMBUSTIÓN

Carbón

GN

IGCC

Reformado de gas



OXICOMBUSTIÓN

Directa

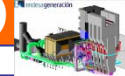
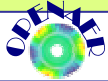
Indirecta

C. Combinado

C. Pulverizado

Lecho Fluido.
(OXYCFB500MW)

Chemical Looping



POSTCOMBUSTIÓN

Tanto CT como CC

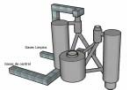
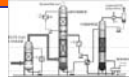
Calcinación
carbonatación
(LA PEREDA)

Absorción
Química
(COMPOSTILLA)

Adsorción
Física

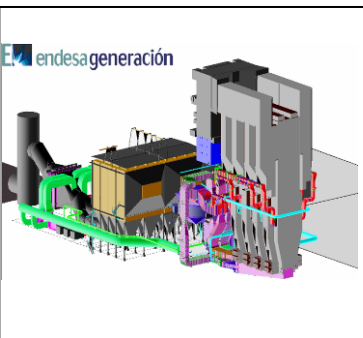
Membranas

Criogenización



ÁREAS DONDE ENDESA GENERACIÓN ESTÁ PRESENTE CON PROYECTOS DE DEMOSTRACIÓN

PROYECTO: DESARROLLO TECNOLÓGICO-OXYCFB500



Socios: ENDESA + Foster Wheeler

Subvenciones: Solicitadas: FP7 y Propuesta nacional AECC

Duración: 4 años (2008-2011) Desarrollo tecnológico

Nota: Condicionado a selección UE como proyecto de demostración.

Objetivos del Proyecto:

Esta propuesta pretende ser una de las 10-12 plantas, de tamaño comercial de combustibles fósiles con sistema de captura de CO₂, contemplada por el Plan de Acción (SET) de la Unión Europea. Proyecto integrado con transporte y almacenamiento.

- Lecho Fluido Circulante Atmosférico Supercrítico en oxidación.
 - Combustible: Mezcla carbón nacional e importación.
 - Potencia oxidación: 562 MWe brutos/ 410 MWe netos.
 - Almacenamiento geológico (>800m) en formación salina.
 - CO₂ capturado ≈ 2,7 MT CO₂/año. (% captura >91%)
 - Fecha puesta en marcha: 2015.

Beneficios / retorno

- Primera planta comercial de ENDESA de captura y almacenamiento de CO₂.

ÍNDICE

- 📁 El carbón como fuente de energía
- 📁 Carbón sostenible y cambio climático
 - 📁 Captura de CO₂
 - 📁 Transporte de CO₂
 - 📁 Almacenamiento de CO₂
 - 📁 Aspectos regulatorios
- 📁 ENDESA Generación y el carbón sostenible
- 📁 **Conclusiones**



CONCLUSIONES

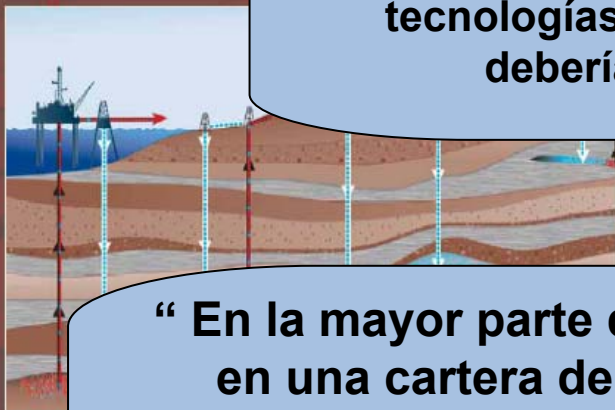
“Pueden componerse sistemas de Captura de CO₂ completos a partir de tecnologías existentes”

“Durante el próximo decenio, el coste de la captura de CO₂ podría reducirse entre el 20 y el 30 %, y las nuevas tecnologías que aún están en fase de investigación deberían poder alcanzar mayores logros”

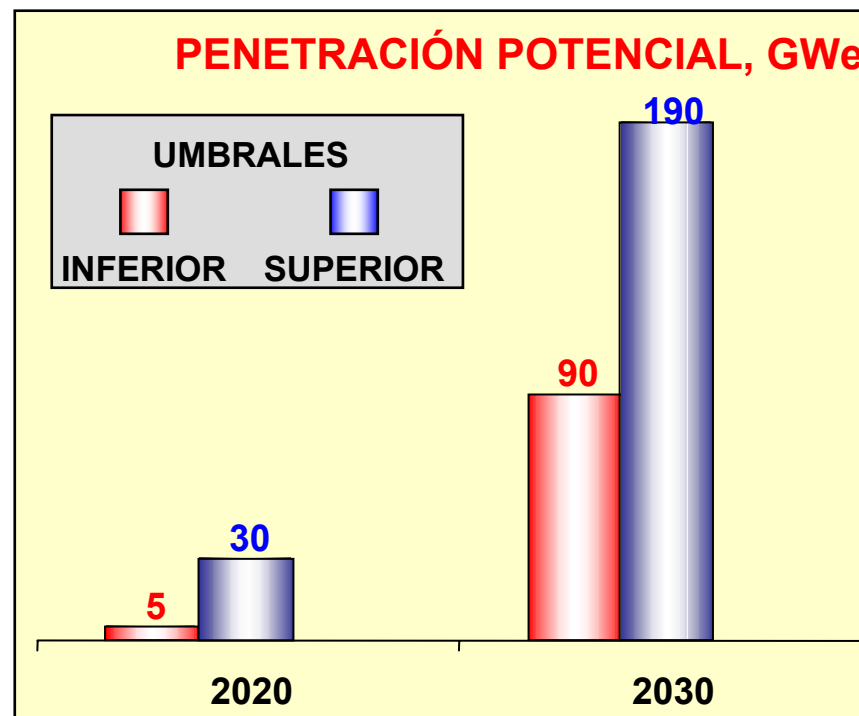
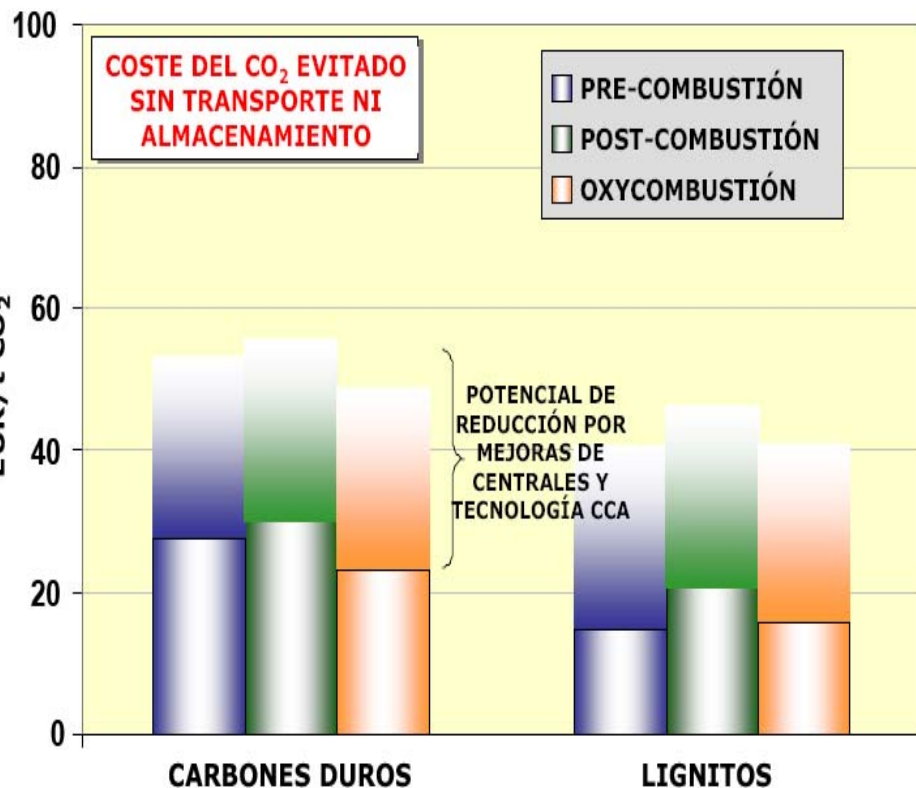
“ En la mayor parte de los escenarios de estabilización, y en una cartera de opciones de mitigación de costos mínimos, la captación y el almacenamiento de CO₂ contribuiría entre el 15 y el 55% al esfuerzo mundial de mitigación acumulativo hasta 2100”

LA CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Resumen para responsables



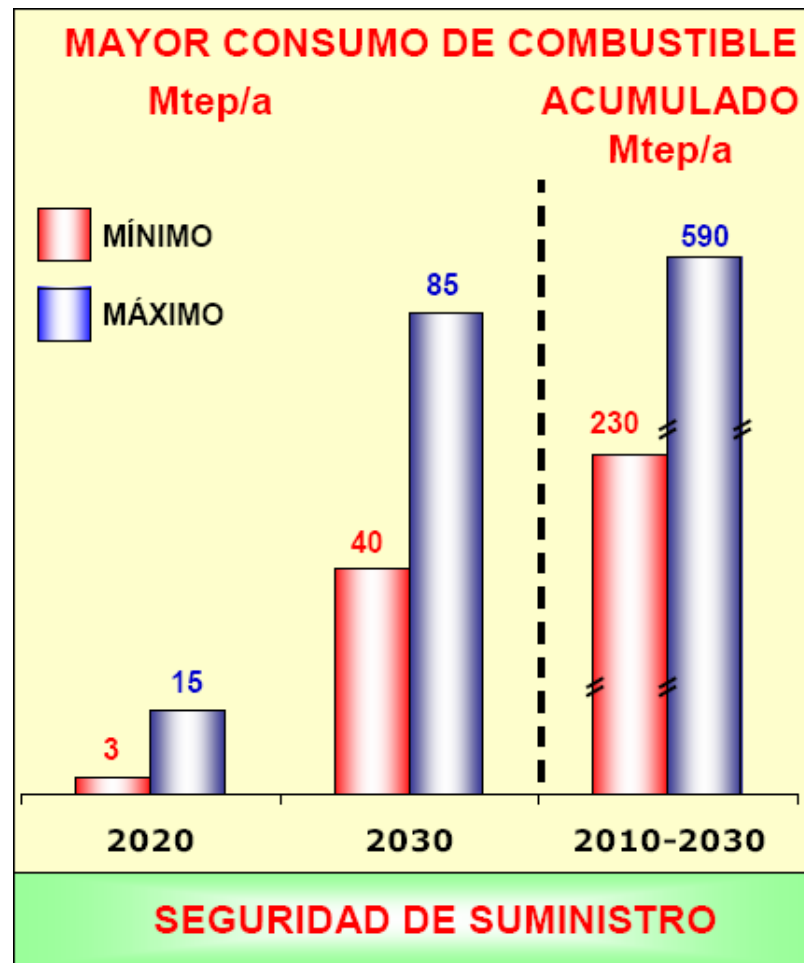
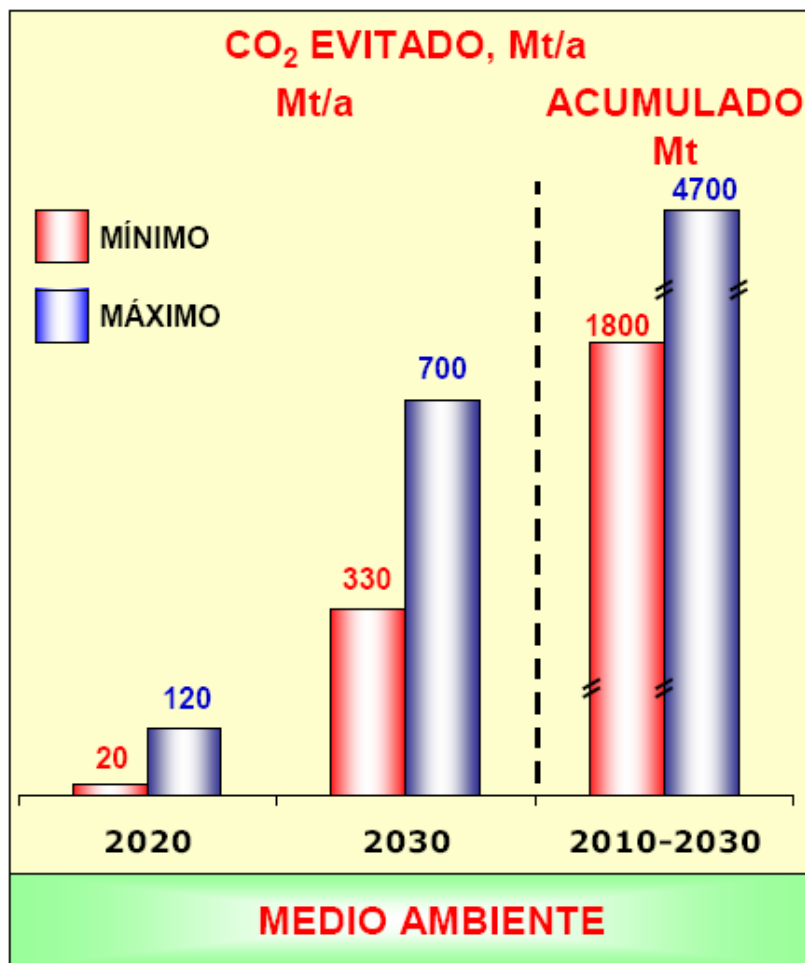
CONCLUSIONES





CONCLUSIONES

IMPACTOS ESPERABLES DE LA IMPLANTACIÓN DE PROCESOS DE CAPTURA DE CO₂ EN EL PARQUE DE GENERACIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA





CONCLUSIONES

Proyecto Minero – Industrial

Complejidad

Integralidad

Multidisciplinaridad

CAPTURA

TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURAS

2008-2011



2012-2014

2015-2020

ALMACENAMIENTO

REGULACIÓN



Toma de decisiones. Punto de no retorno