

# **LA CAPTURA Y EL ALMACENAMIENTO DEL DIÓXIDO DE CARBONO, CAC:**

## **UNA HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO.**

**ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA,  
URUGUAY**

**INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS  
TÉCNICAS**

**Acad. Prof. Ing. Raúl R. Prando**

**01 de Junio 2011- Versión Revisada**

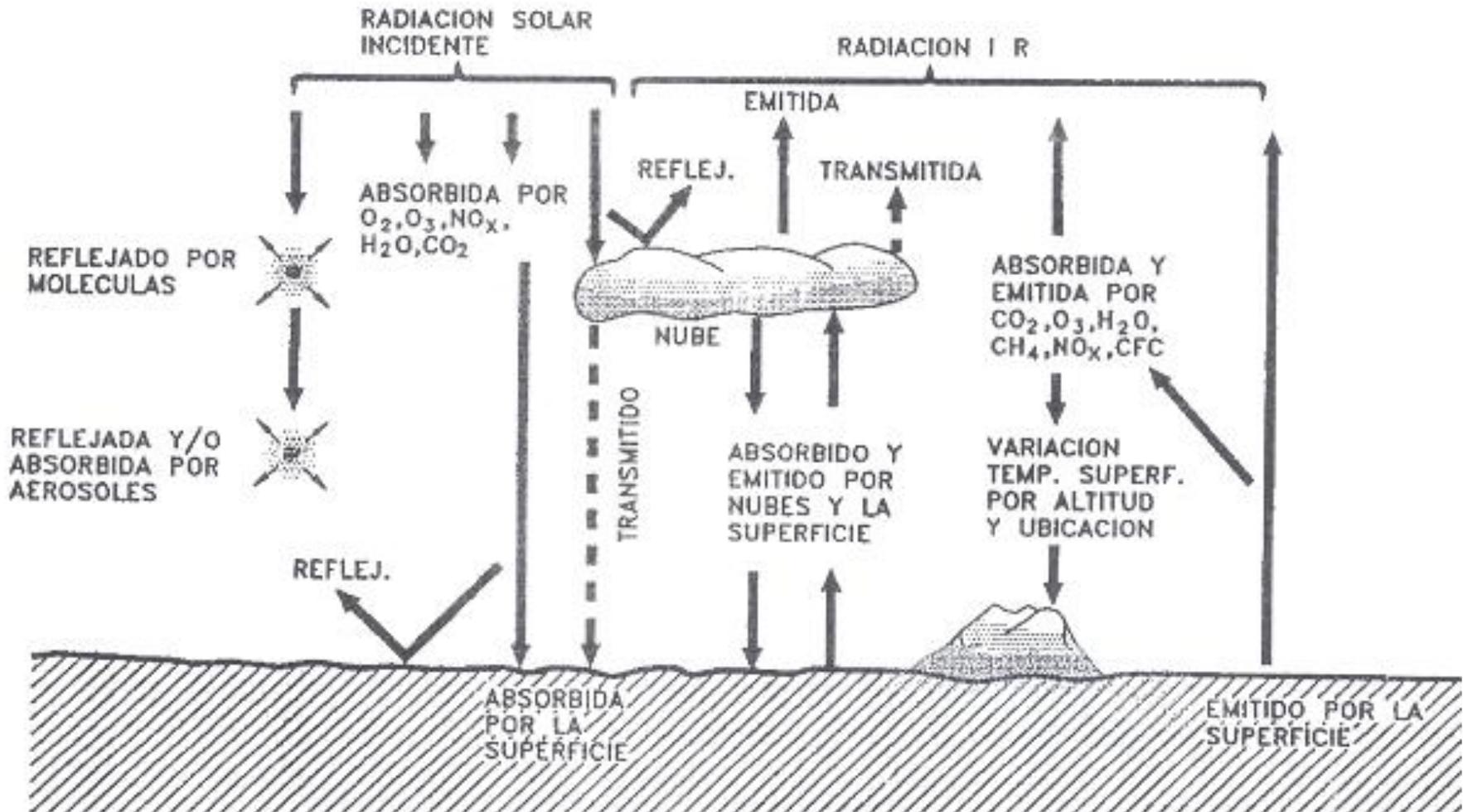
# INTRODUCCIÓN:

- En este siglo, la Humanidad enfrenta, entre otros, un problema de enorme trascendencia: el **Cambio Climático, CC**.
- Es provocado por la **acumulación, en la Atmósfera, de Gases de Efecto Invernadero, GEI, causada** por la **actividad antropogénica**.
- Para enfrentarlo, el **único camino, compatible con las urgencias** con que **debe actuarse**, para evitar sus efectos negativos, es la **Mitigación**.
- Ésta cuenta con un **abanico de tecnologías aplicables** a las formas de **suministro** y de **consumo de energía**.
- Entre ellas, se encuentra la **Captura y Almacenamiento de Carbono, CAC**.
- La **CAC** es una **opción**, que integra distintas tecnologías con diferentes grados de madurez, para **reducir las emisiones de Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub>**, uno de los Gases de Efecto Invernadero, del **efluente gaseoso resultante de unidades de combustión y gasificación, preferentemente de fuentes fósiles** (generación de energía eléctrica y plantas de la industria de procesos).
- **PICC** le atribuye un **papel relevante como herramienta** para mitigar el CC en la **etapa de transición** entre la era de los **combustibles fósiles** y la de la **fuentes de energía renovables** que se inicia **en este siglo**.

# LA ATMÓSFERA:

- **Capa gaseosa, compuesta por aire, que rodea toda la superficie del planeta.**
- Su límite superior no bien definido por reducirse su densidad con la altura respecto al suelo (50% de su peso hasta unos 5.5 km y, el 99% hasta unos 32 km de altura).
- Compuesta por aire que tiene una composición **constante** de macrocomponentes (78% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>, 1% Ar) y **variable**, de componentes traza, entre ellos vapor de agua.
- **Responsable del Efecto Invernadero Natural, EIN, consecuencia de la absorción, reflexión y transmisión atmosféricas de la radiación solar incidente y de la emisión infrarroja terrestre.**
- El EIN se debe a la **presencia de gases traza, en particular CO<sub>2</sub> y vapor de agua**, en la atmósfera que absorben radiación infrarroja impidiendo su emisión de la Tierra al Espacio.
- **Determina el aumento de unos 33° C** en la temperatura media global sobre la superficie de la Tierra alcanzando ésta unos 15° C, **asociados a una presencia** en la atmósfera de unos **280 ppmv de CO<sub>2</sub>e** (valores existentes y constatados en la **atmósfera terrestre antes de la iniciación de la revolución industrial, año 1750**).

# EFECTO INVERNADERO: *Procesos*

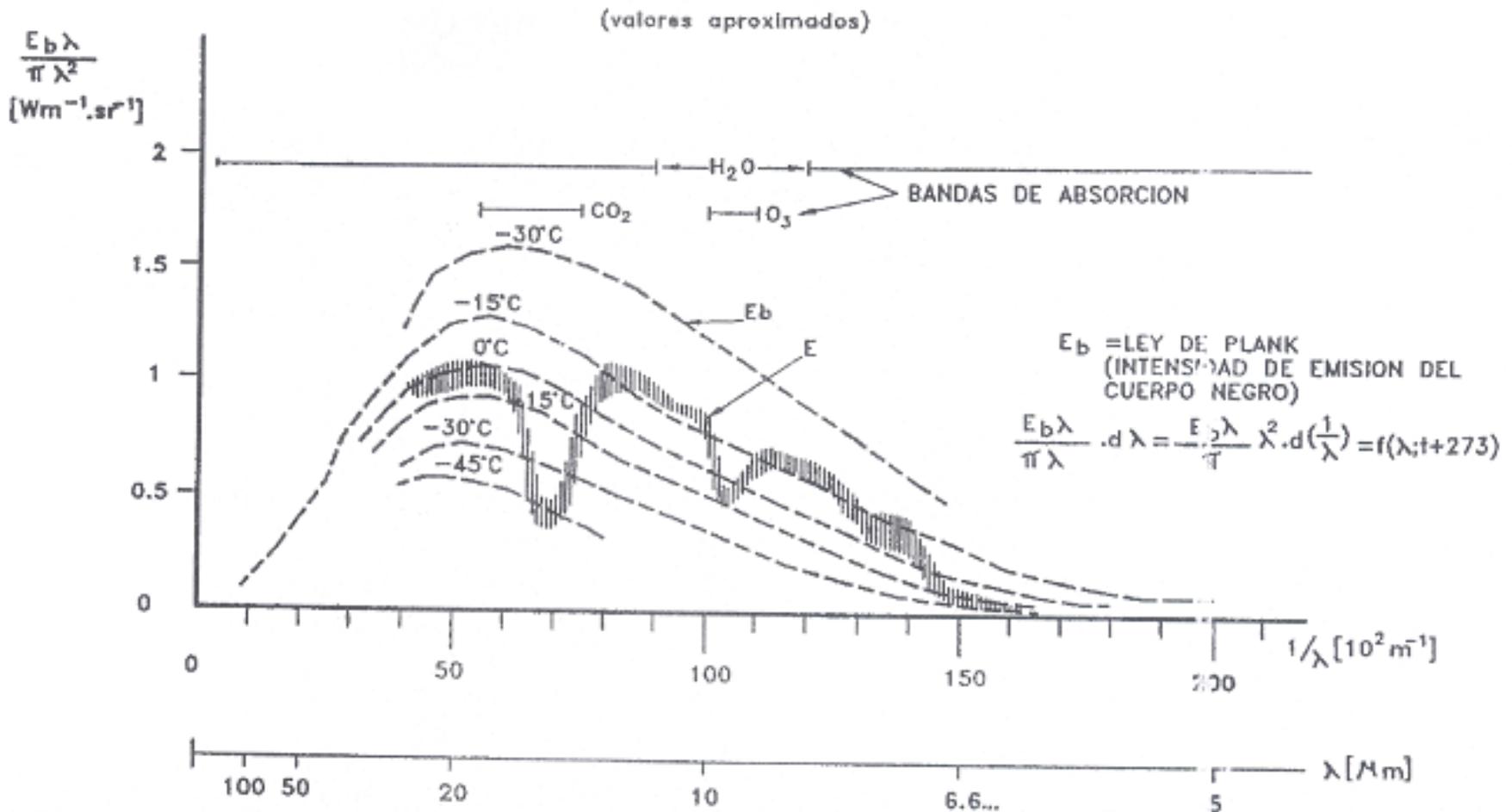


# GASES DE EFECTO INVERNADERO – GEI

**Componentes gaseosos traza** de la **atmósfera, naturales y antropogénicos**, que **transmiten energía radiante visible y absorben radiación infrarroja** dentro del espectro de radiación emitida por la superficie de la tierra, la atmósfera y las nubes.

- ❑ El **Protocolo de Kioto, Anexo A**, identifica **seis GEI directos**: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Hidrofluorcarbonos, HFCs, Perfluorocarbono, PFC y SF<sub>6</sub>. No menciona los clorofluorocarbonos, CFCs, por estar incluidos en el Protocolo de Montreal.
- ❑ Otros Gases, los **GEI indirectos**, **influyen sobre los ciclos químicos** de la **atmósfera creando o destruyendo** algunos **GEI**, como Ozono en la troposfera. Se incluyen:
  - **CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>** (generables en procesos de combustión con proporciones de O<sub>2</sub> menor a la estequiométrica, con T llama y tiempo de estadía dados por la cámara de combustión y contenido de S en combustibles).
  - **COVDM**, compuestos orgánicos volátiles distintos del metano.
- ❑ **Vapor de agua**, naturalmente presente en la atmósfera. Al **aumentar la temperatura del aire, aumenta su concentración** en la atmósfera, **incidiendo en el CC**, debido a su “retroacción positiva”.

# BANDAS DE ABSORCIÓN H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> Y O<sub>3</sub>



# GEI:

## DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE

- **Dióxido de Carbono Equivalente,  $CO_2e$** : unidad que **engloba las contribuciones al CC** de los **GEI** presentes en la atmósfera **expresándolas como debidas al  $CO_2$** .
- Se calcula utilizando la **masa de los distintos GEI emitidos, multiplicada por su Potencial de Calentamiento Atmosférico** o Global, **PCA**.
- **PCA**: factor que describe el impacto de radiación de la unidad de masa de un GEI determinado, con relación a la unidad de masa de  $CO_2$  en un período de tiempo determinado, por lo general, 100 años.

**Algunos valores de PCA: 1 para  $CO_2$ , 21 para  $CH_4$  y 310 para  $N_2O$ .**

# CAMBIO CLIMÁTICO – CC

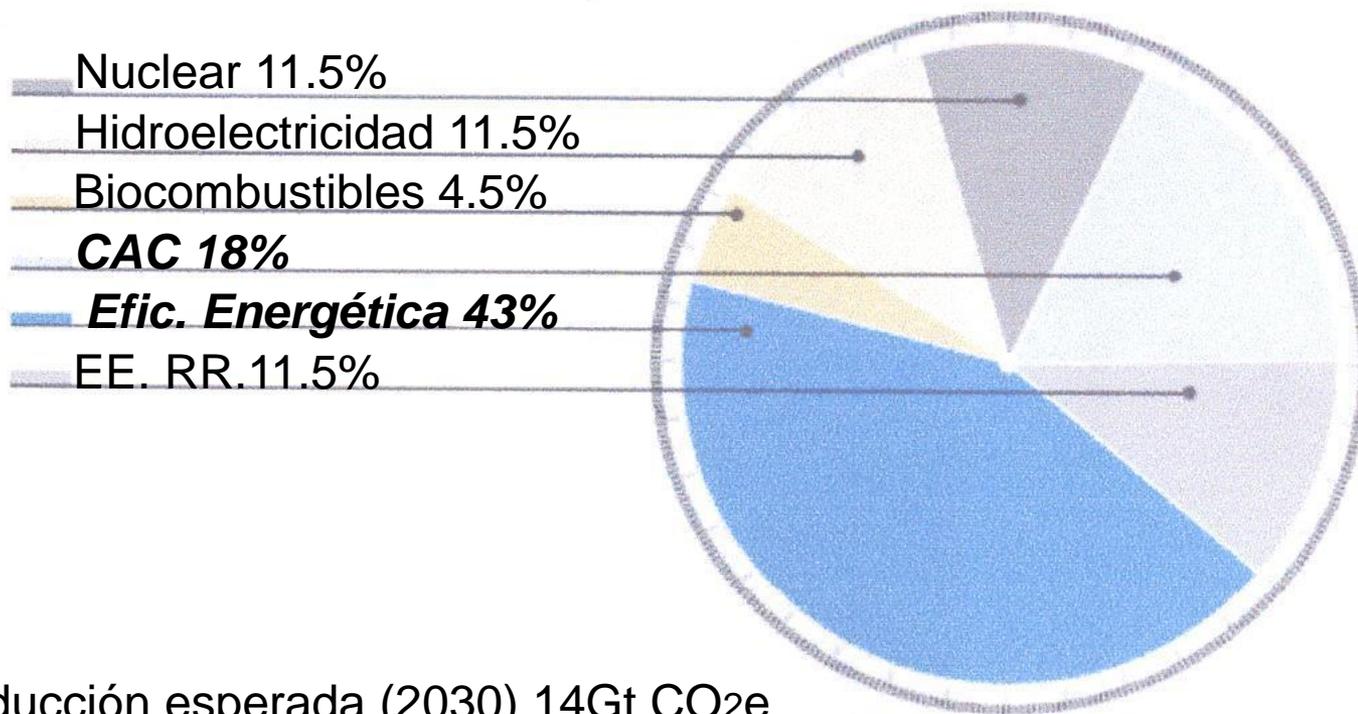
- ***Cambio de clima, consecuencia directa e indirecta, de la actividad humana o antropogénica, debida al aumento de concentración de GEI en la atmósfera que provoca un calentamiento cada vez mayor del clima mundial.***
- ***PICC/CMNUCC, en el 2001, expresó en un informe en el que participaron 800 autores y 2500 revisores científicos de 130 países, que la evidencia científica sobre el CC es inequívoca y conclusiva.***
- ***US EPA, determinó que los GEI ponen en riesgo la salud humana y el ambiente.***
- ***US NASA expresó que el CC es consecuencia de las actividades antropogénicas y que »mientras la humanidad no limite las emisiones de GEI, cada década será más caliente que la precedente«.***
- ***Al presente, a pesar del respaldo y confiabilidad de estas afirmaciones, hay opiniones contrarias que no compartimos.***
- ***La alteración debida al CC, se suma a la variabilidad natural del clima y se manifiesta, entre otros efectos, en:***
  - ***el aumento de la temperatura media global***
  - ***el aumento en la intensidad y variación espacial y temporal de las precipitaciones pluviales***
  - ***la mayor frecuencia e intensidad de hechos climáticos extremos***
  - ***el aumento del nivel medio del mar***
  - ***la disminución de superficies cubiertas de hielo y nieve.***

# MEDIDAS DE MITIGACIÓN DEL CC

- Consisten en **reducir las emisiones de GEI procurando estabilizar su concentración en la atmósfera entre 440 ppmv y 535 ppmv de CO<sub>2</sub>e**, con **respecto al valor base de 280 ppmv** en el año **1750** (equivalentes a aumentos de temperatura global entre 2° C y 2.8° C).
- **Concentración de CO<sub>2</sub> medida en la atmósfera, Dic 2010: 389.6 ppmv (Mauna Loa Observatory, Hawai, USA).**
- Las medidas se basan en **acciones de la sociedad vinculadas con el uso de la energía y el empleo de los combustibles** (fósiles, minerales, renovables) a realizar en el marco del **Desarrollo Sostenible** (*visión que integra, en pie de igualdad, lo económico, lo ambiental y lo social*). Se mencionan:
  - **Eficiencia energética**
  - Empleo de **combustibles fósiles con menor contenido en C**
  - Utilización de **fuentes de energías renovables tradicionales e innovadoras**
  - Uso de **energía nuclear**
  - **Captura de las emisiones de CO<sub>2</sub> y su almacenamiento aislado de la atmósfera, CAC.**

# CONTRIBUCIÓN ESPERADA DE LA CAC EN LA MITIGACIÓN DEL CC

- El PICC, CMNUCC (UNFCCC) la considera, después de la eficiencia energética, como una de las opciones más prometedoras para reducir emisiones de CO<sub>2</sub>.



Reducción esperada (2030) 14Gt CO<sub>2</sub>e

# CO<sub>2</sub> COMO COMPUESTO:

- **Peso Molecular:** 44.01
- **Peso específico:** 1.53 (21° C y presión atmosférica).
- **No inflamable.**
- **Toxicidad:** No se considera tóxico, valor umbral límite 0.5% v/v, 8 h diarias.
- **Punto Triple:** Valores combinados de Temperatura, -56.6° C y de Presión, 5.18 bar abs, a los que existe simultáneamente como **sólido, líquido y gas**. Por **debajo**, **coexisten** las **fases sólida y líquida**, por **encima**, las **fases líquida y vapor** hasta alcanzar el punto crítico.
- **Temperatura Crítica:** Valor por encima del cual es imposible licuarlo aumentando su presión, 31° C (304° K).
- **Presión Crítica:** Valor de equilibrio prevaleciente a la Temp. Crítica: 73.83 bar abs
- **Densidad crítica** (densidad del líquido/vapor a la temperatura crítica): 468 kg/m<sup>3</sup>.
- **Viscosidad Crítica:** (viscosidad en el punto crítico) 0.003335 centipoises

# CO<sub>2</sub> COMO COMPUESTO, (Cont.) :

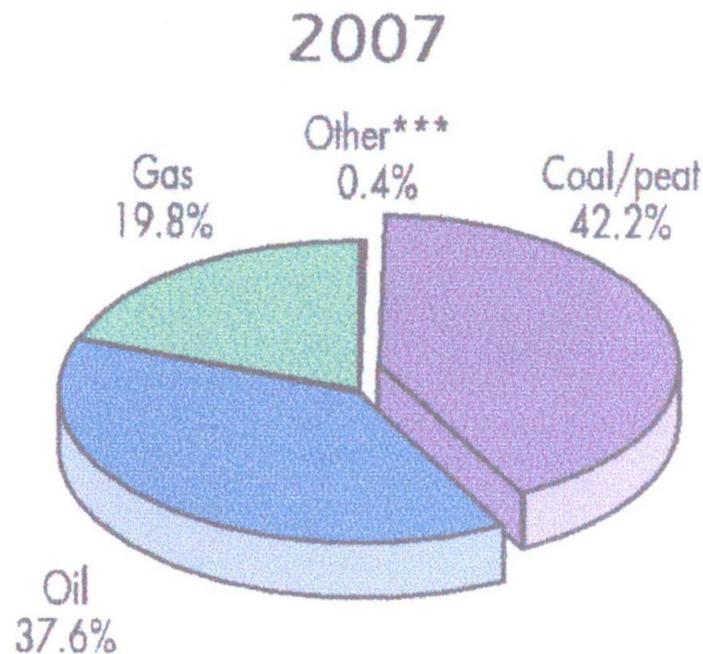
- **Transmisión y Absorción de Radiaciones:** transmite la radiación solar incidente y absorbe radiación infrarroja a 2.7nm, 4.3 nm y entre 12 y 18 nm de longitud de onda.
- **Calores Específicos:** sólido (-78.4<sup>o</sup>.C) 1.34 kJ/kg. C, líquido (17.8<sup>o</sup> C), 2.28 kJ/kg. C y vapor (15.6<sup>o</sup>.C) 2.76 kJ/kg. C.
- **Disolución y Reactividad:**
  - En agua, forma ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y es corrosivo.
  - En ausencia de agua (estado anhidro) no es corrosivo.
- **Transporte y Almacenamiento:** como **gas a presión** (cañerías, gasoductos, recipientes a presión) y como **gas licuado a -17<sup>o</sup>.C y 20.5 bar** (en recipientes a presión y aislados).
- **Precio medio** (mercado local): U\$S 280/ton (licuado a -17<sup>o</sup> C y 2 bar)

# CO<sub>2</sub> COMO GEI:

- Las **emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>**, constituyen alrededor del **65 % de las emisiones globales de GEI (alrededor de 42 Gt CO<sub>2</sub>e)**, o sea, es un **GEI relevante** pero **no es el único**.
- Las **emisiones de GEI** debidas a **generación de energía** y a **actividades industriales, están compuestas mayoritariamente por CO<sub>2</sub>**, (representan aproximadamente un **38% del total**).
- En su conjunto, estas actividades fijas son **fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> relativamente concentradas**, a diferencia de lo que sucede con las **difusas** originadas en el **transporte y residencias**.
- Ello, junto a lo relevante de su contribución al CC, determina el interés en evitar su liberación a la atmósfera en ese tipo de fuentes.

## CO<sub>2</sub> COMO GEI, (Cont.):

Las **Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>e entre 2007 y 2030 aumentarían** a un **tasa comprendida entre 0.9% y 1.3% anual**, dependiendo del grado de mitigación aplicado. Por su parte, la **demanda mundial de Energía lo haría a razón del 1.2% anual**.



28 962 Mt of CO<sub>2</sub>

# USOS DEL CO<sub>2</sub> :

- Se estima un ***uso anual mundial del orden de las 120 Mt de CO<sub>2</sub>*** (valor que no incluye su empleo en la recuperación mejorada de perforaciones de petróleo y de GN). Se emplea en:
  - ***Procesos:***
    - ***Se desempeña como reactivo***
      - Ejemplos: producción de urea, metanol, etc.).
    - ***2/3 del total*** arriba indicado, se usa para producir ***urea*** [CO.(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>], *utilizando Gas Natural* (obtención de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> mediante reformado con vapor) *y N<sub>2</sub> del aire* (síntesis de NH<sub>3</sub>).

De cada 7 moles de CO<sub>2</sub> obtenidos para producir urea, se *consumen 4 y suelen liberarse 3 a la atmósfera.*

## USOS DEL CO<sub>2</sub>, (Cont.):

- **Aplicaciones tecnológicas :**

Se emplea directamente como tal.

Ejemplos: *refrigeración, gasificación de aguas y de bebidas de mesa, extintores de incendio, etc..*

La **duración media de su empleo** bajo esas formas corresponde a **períodos de días a meses**, permaneciendo retenido fuera de la atmósfera **una escala cronológica corta que no aporta a la mitigación del CC.**

- **Resumiendo:**

**Su uso**, tanto como como reactivo y como producto **sólo garantiza** su **retención** en forma combinada, en una **escala de tiempo corta.**

En consecuencia, para asegurar su exclusión de la atmósfera, **debe procederse a su secuestro de largo plazo.**

# EJEMPLO: DESBALANCE ENTRE EMISIONES Y CONSUMO DE CO<sub>2</sub> EN URUGUAY.

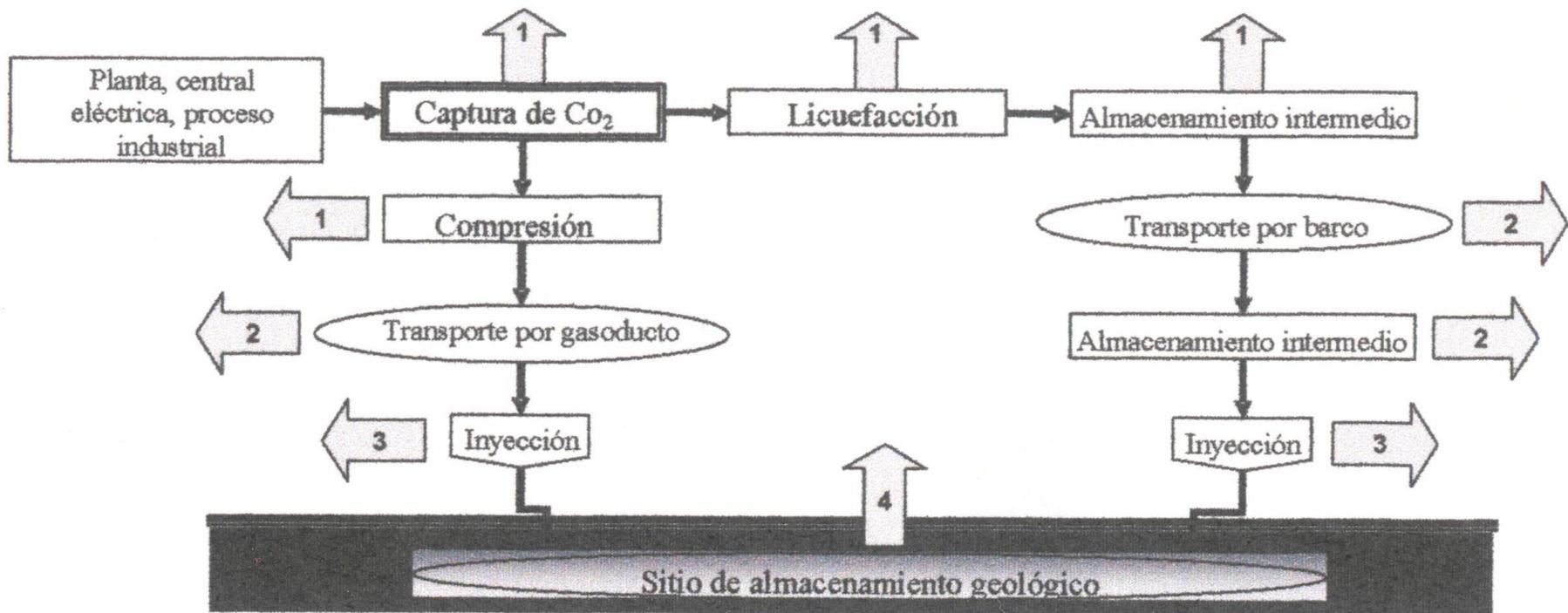
- **Emisiones Concentradas**, excluyendo las difusas (INGEI 2004, UCC, MVOTMA): Total **1628 kton**
  - Industria de **Energía** 1311 kton CO<sub>2</sub>
  - Industria de **Procesos**, preferentemente Cemento Portland y Cales, 317 kton CO<sub>2</sub>.
  
- **Demanda local anual de CO<sub>2</sub>**:
  - **11 kton** (equivalentes al 0.7% de las emisiones nacionales concentradas).
  - **Satisfecha con importaciones** desde Argentina y Brasil (basadas en el empleo del excedente de CO<sub>2</sub> resultante de la fabricación de urea).
  
- **Captura y Uso del CO<sub>2</sub> obtenido como Producto**:
  - Fuente: Proyecto curricular Carrera Ing. Qca. Fac. de Ingeniería (UdelaR 2008/9) intitulado **Absorción y Valorización de CO<sub>2</sub>** en la empresa **Cía. Nacional de Cementos SA**, CNCSA, Pueblo Gerona, Maldonado.
  - Capacidad de captura anual. **33.6 kton** (Eficiencia adoptada 83%, valor conservador). Representa 3 veces su demanda anual nacional.
  
- **No se identificó mercado demandante regional** interesado en consumir el posible excedente de esta producción anual una vez satisfecho el consumo local.

# CONFORMACIÓN DE LA CAC

- Integra diferentes ***Tecnologías, con distintos grados de madurez***, que se emplean en la ***industria de procesos en general***, en la ***extracción de petróleo y de gas natural*** y en la ***recuperación de pozos de petróleo y de gas agotados***.
  
- Comprende tres fases bien diferenciadas:
  - ***Captura y compresión del CO<sub>2</sub>***.
  - ***Transporte e inyección en un sitio de almacenamiento geológico idóneo***.
  - ***Almacenamiento de largo plazo geológicamente aislado de la atmósfera***.

# CONFORMACIÓN DE LA CAC:

## *Representación Esquemática*



Cada etapa puede generar fugas o emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

# FUNDAMENTO DE LA CAC.

*Evita la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera pero no su generación*, por lo tanto:

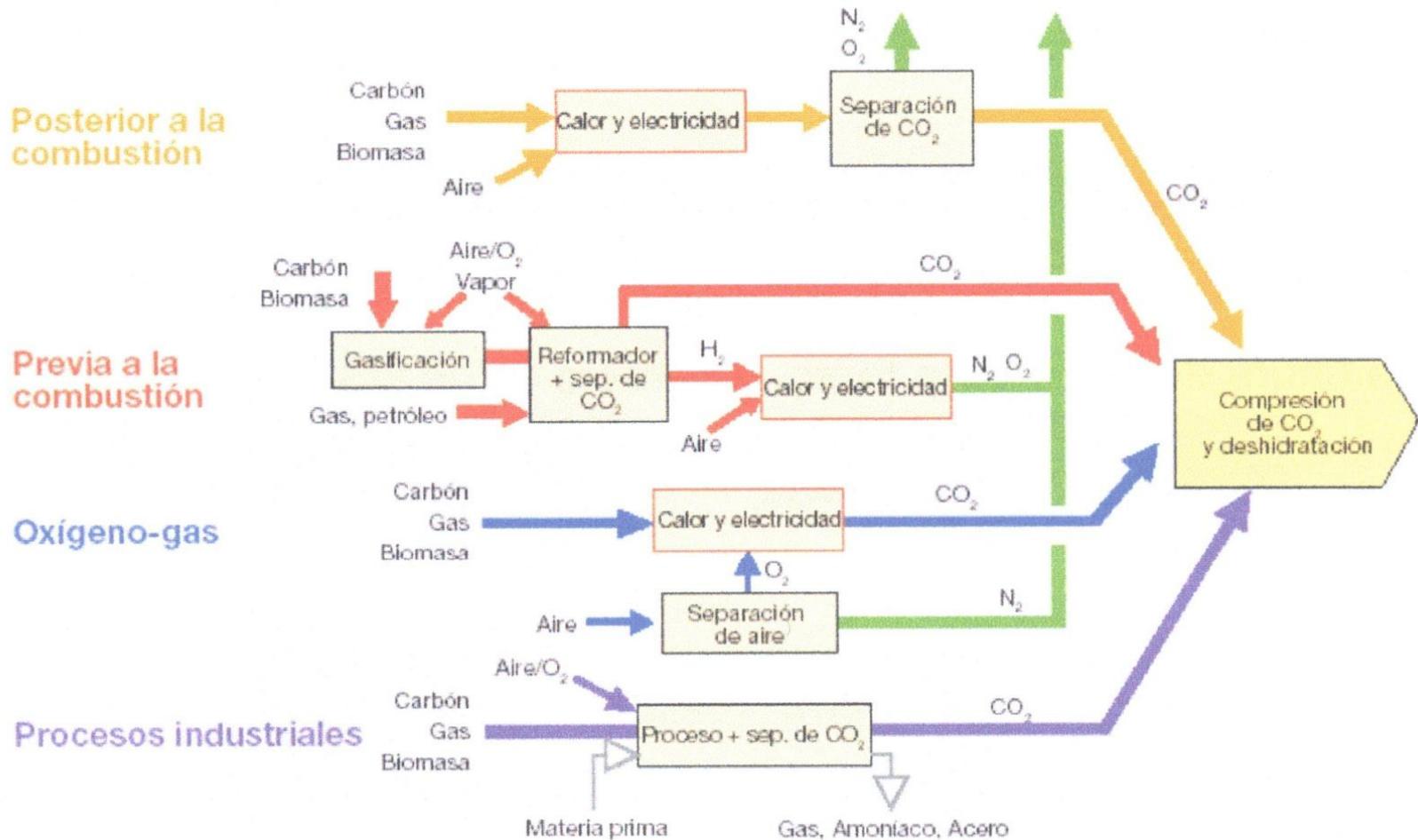
- su empleo **consume más energía primaria**, lo que **causa una generación adicional de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes**, para producir una cantidad dada de energía o de productos finales útiles evitando la emisión significativa de CO<sub>2</sub> a la atmósfera
- alcanza una **eficiencia dada** (referida a captura de **emisiones de CO<sub>2</sub> y al consumo energético** asociado que se procura optimizar).
- Se mide mediante la **diferencia de emisiones y la penalización de generación de energía** de una **planta sin captura** y una **similar equipada con captura** de CO<sub>2</sub>, **generando ambas a la misma potencia eléctrica o productiva netas.**

# OPCIONES PARA CAPTURAR CO<sub>2</sub>

- **Procuran**, mediante sus tecnologías más difundidas, **obtener un flujo «concentrado y seco de CO<sub>2</sub> a presión elevada»** que pueda ser **fácilmente transportado** a un **lugar adecuado de almacenamiento de largo plazo**; en su defecto, **obtener un compuesto sólido estable en condiciones ambiente (carbonato de calcio)** a disponer en el suelo o a emplear en la industria de la construcción.
  
- Se distinguen:
  1. **Captura del CO<sub>2</sub> previa a la Combustión.**
  2. **Combustión Empleando Oxígeno en lugar de Aire** (Oxicombustión).
  3. **Captura Posterior al Proceso de Combustión** (Post-combustión).

# CAC:

## *Visión General de las Opciones de Captura de CO<sub>2</sub>*



# CAC:

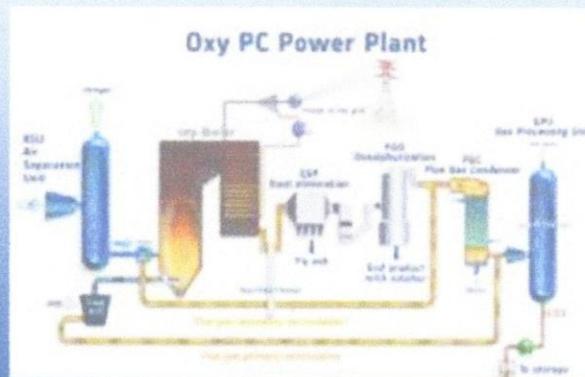
## *Opciones de captura de CO<sub>2</sub>*

### Power Plant with CO<sub>2</sub> capture

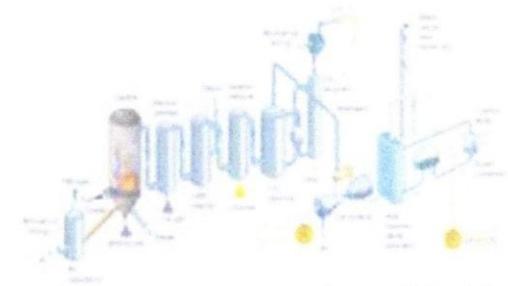
Post-combustion  
(New + retrofit)



Oxy-combustion  
(New + retrofit)



Pre-combustion  
(New only)

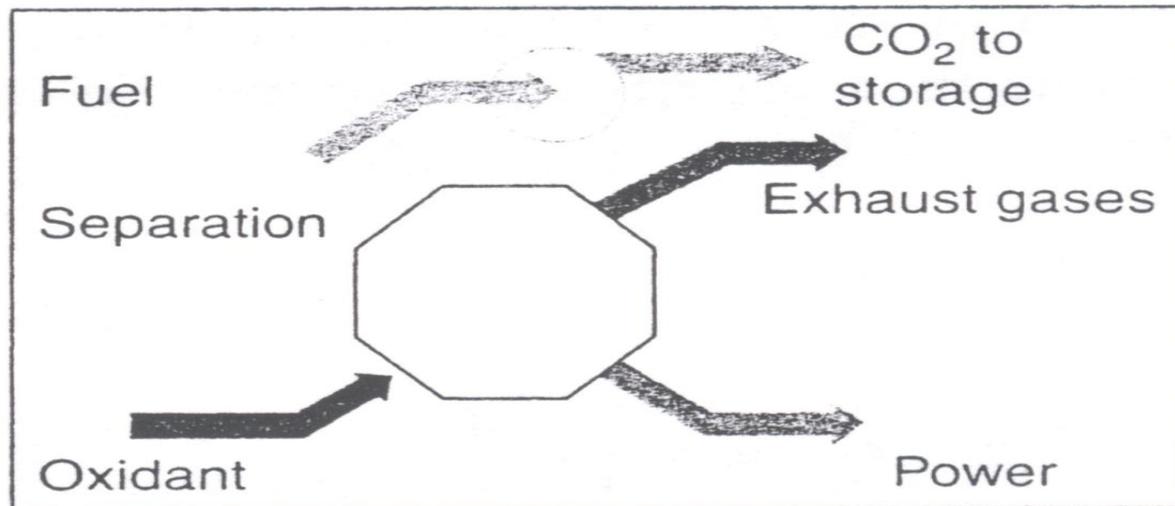


Source: Vattenfall

Solutions developed by Alstom

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

*Previa a la Combustión,* (Cont.):



# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

## ***Previa a la Combustión,*** (Cont.):

- ***Aplicable a plantas de Gasificación*** tales como:
  - a) IGCC (Gasificación integral con ciclo combinado), operando con C
  - b) Obtención de H<sub>2</sub> a partir de combustibles fósiles (45% a partir de GN) o de biomasa.
- Implica la ***reacción de un combustible con parte del aire o del O<sub>2</sub> requerido estequiométricamente para su quema,*** obteniéndose ***Gas de Síntesis o Gas Pobre,*** compuesto principalmente por ***CO*** e ***H<sub>2</sub>.***
- EL ***CO*** puede ***hacerse reaccionar con vapor de agua*** en un reactor empleando un catalizador Cr - Fe, dando lugar a una ***reacción de conversión exotérmica*** (Shift reaction) que se optimiza entre 200° C y 600° C:



Su eficiencia varía entre 60% y 90%.

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

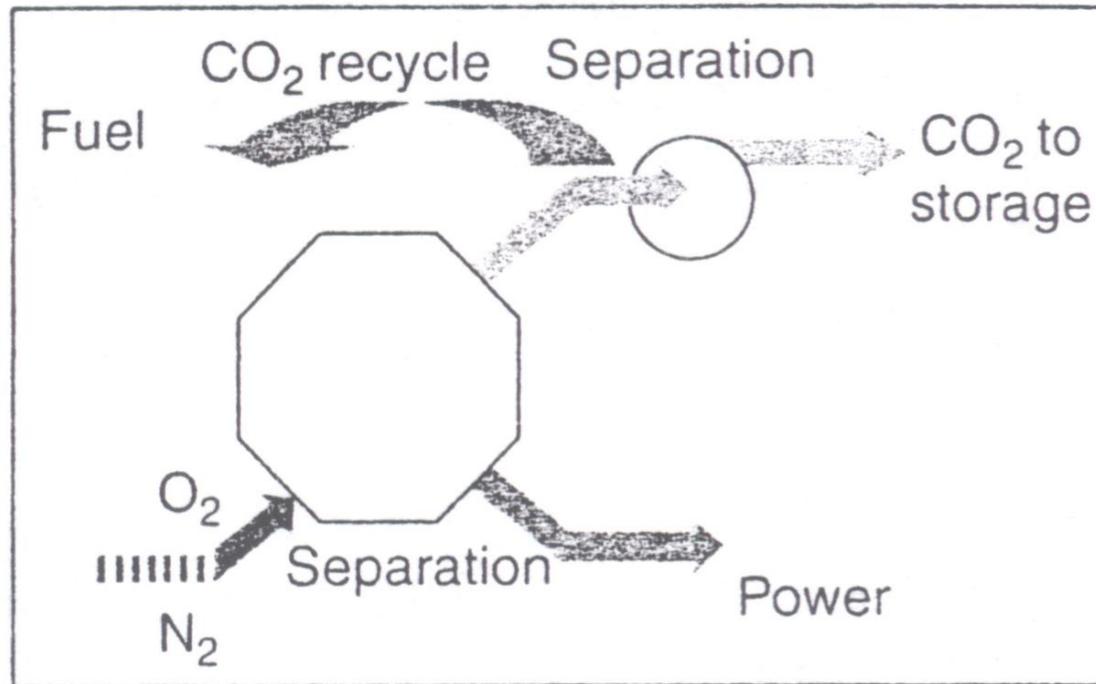
## ***Previa a la Combustión,*** (Cont.):

- El **CO<sub>2</sub>** obtenido (40% de concentración y 15 bar) **se separa** de la mezcla gaseosa mediante un **proceso de absorción química o de adsorción física a presión** (PSA) que emplea sílica gel, carbón activado o zeolitas. Eficiencia 85% - 90%.
- **Requiere introducir modificaciones en el diagrama original de plantas** existentes, por lo que se **recomienda** implementarla en **instalaciones nuevas**.
- **Representa**, para las plantas a C, que operan con tecnología IGCC, **una reducción en el poder calorífico del gas resultante** debido a que la reacción de conversión reemplaza un mol de CO por un mol de H<sub>2</sub> lo que significa una pérdida de energía del orden de 40 kJ/mol.
- **Ejemplo:** Proyecto aprobado . Dic. 2010, de Planta de generación de Energía Eléctrica, IGCC operando a C, 600 MWe potencia, con CAC, Taylorville, Ill, USA. Inversión: U\$S6000/kW. Consumirá C de yacimientos de Illinois.

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

## *Mediante Combustión con Oxígeno*

Consiste en realizar la combustión ***utilizando O<sub>2</sub> en lugar de aire, recirculando*** los gases de combustión, ricos en CO<sub>2</sub> y agua, ***para evitar temperaturas de llama excesivamente elevadas.***



# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

## *Mediante Combustión con O<sub>2</sub>, (Cont.):*

- La **separación del O<sub>2</sub>** requerido para la combustión, partiendo del aire atmosférico, es una **tecnología madura** ampliamente **empleada en la industria de procesos**.
- la **elección** de cuál usar, en **función del volumen horario de oxígeno requerido** por la combustión, es **económica**.
- Puede realizarse mediante **destilación criogénica** (requieren unos 200 kWh/ton O<sub>2</sub>) o empleando **tamices moleculares** (zeolitas, por ej.) que **adsorben selectivamente** N<sub>2</sub> y lo **desorben** mediante **variaciones de presión** en los reactores que los contienen (PSA), requiriendo un consumo mínimo de energía. Éstos, se recomiendan hasta demandas de 20 ton O<sub>2</sub>/día (600 Nm<sup>3</sup>/h).

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

## *Mediante Combustión con O<sub>2</sub>*, (Cont.):

- Permite obtener **CO<sub>2</sub> en concentraciones elevadas** sometiendo simplemente los **gases resultantes de la combustión** a una simple **condensación de vapor de agua**, mediante enfriamiento, seguida de una compresión.
- Las **impurezas presentes** en el combustible o en el O<sub>2</sub> empleados pueden requerir de una **purificación y secado adicionales** que, de todos modos, son de extensión y envergadura limitadas.
- La **Oxicombustión** puede emplearse para **generar vapor** en **calderas convencionales**, **alimentar directamente** una **turbina a gas y evaporar**, mediante calentamiento directo, **agua presurizada junto con los gases de combustión**, a expandir en una turbina.
- Las dos últimas tecnologías requieren emplear diseños de turbina especiales.

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

*Mediante combustión con O<sub>2</sub>, Tecnología ALSTOM*



# CAPTURA DE CO<sub>2</sub> MEDIANTE COMBUSTIÓN CON O<sub>2</sub>: *Proyectos Demostrativos*

- *Schwarze Pumpe, Alemania, Carbón*    30 MWt    *Vattenfall - Alstom*
- *Lacq, Francia, Gas Natural*                      30 MWt    *Total - Alstom*
- *Windsor, USA, Carbón*                              15 MWt    *BSF - Alstom*
- *Janschwalde, Alemania, Lignito\**            250 MWe    *Vattenfall - Alstom*

❖ *Puesta en marcha prevista para el año 2015*

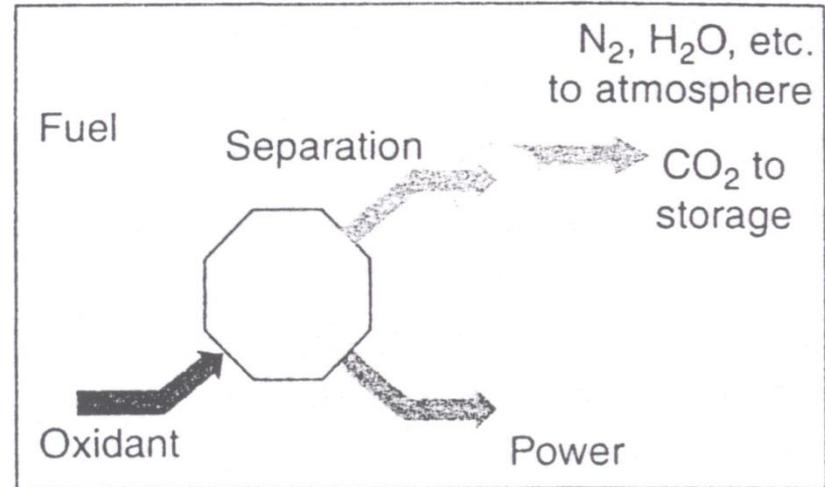
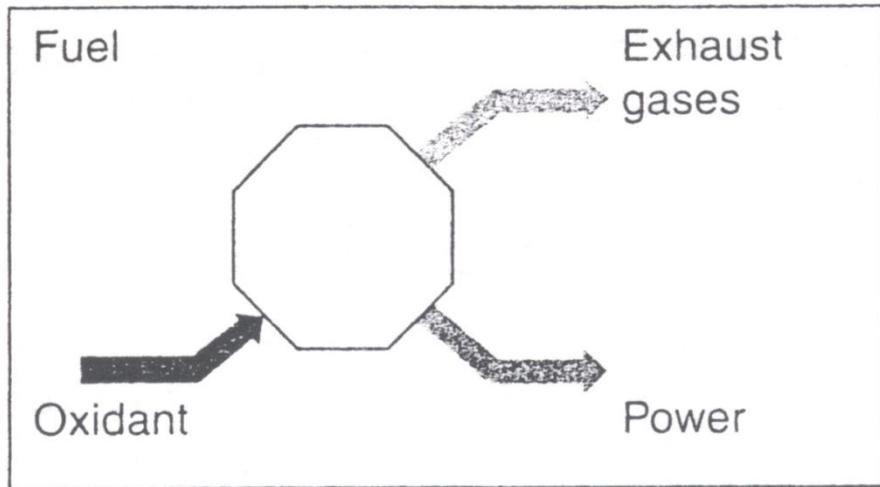
# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

## *Posterior al Proceso de Combustión*

- *El proceso de combustión se desarrolla en forma habitual realizándose la captura del CO<sub>2</sub> en los humos resultantes de aquél.*
- *Ventaja relevante:*
  - *Fácilmente aplicable a plantas existentes* sin requerir mayores modificaciones internas.
- *Inconvenientes:*
  - Los humos de combustión suelen contener **contaminantes** tales como NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HCl, Hg, y PM, que **deben ser controlados** adecuada y **previamente a la captura del CO<sub>2</sub>**.
  - Requiere tratar **grandes volúmenes de gases con bajas presión** (próxima a la atmosférica) y **concentración de CO<sub>2</sub>** (entre 3% en plantas NGCC y 15% en unidades de generación de potencia con C).
  - Origina **costos de inversión elevados** (consecuencia de los volúmenes a tratar) y de **O&M (Operación y Mantenimiento) importantes** (por requerirse la compresión del gas).

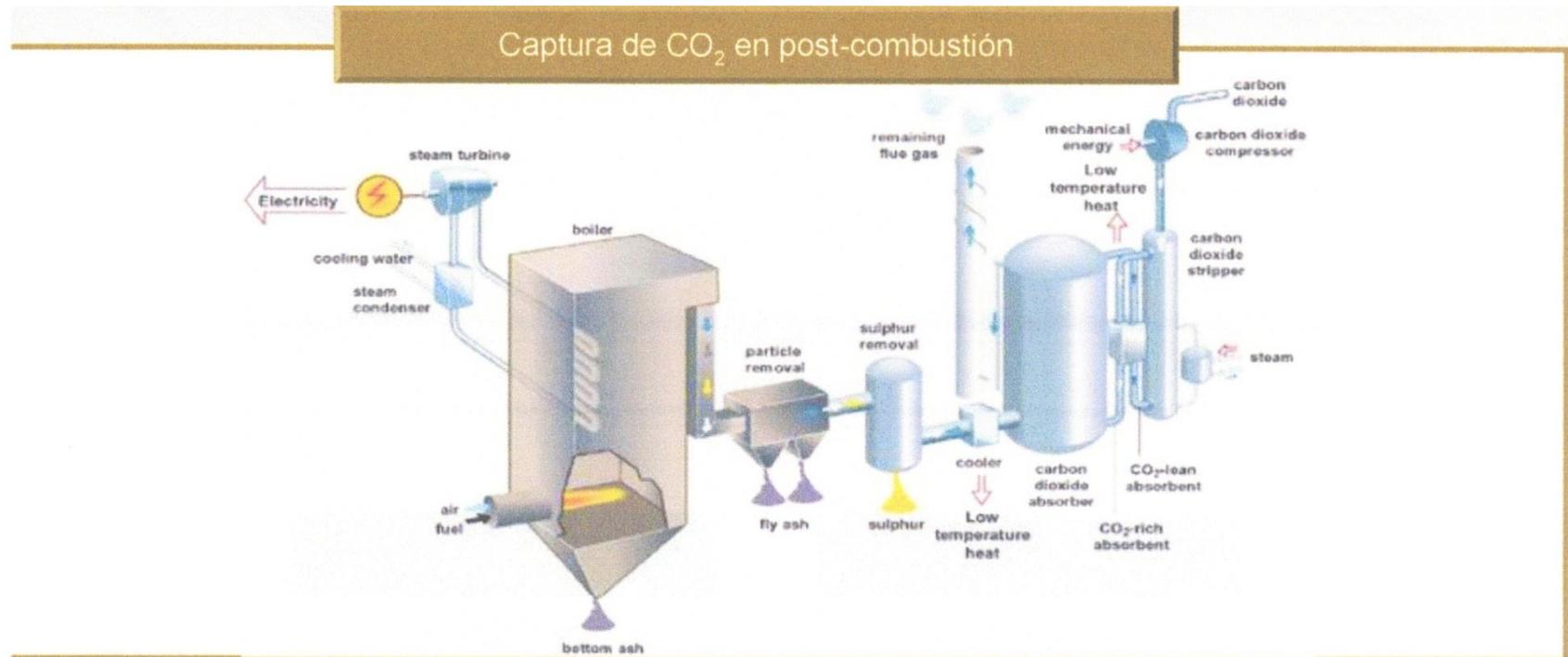
# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

## *Posterior al Proceso de Combustión,* (Cont.)



# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

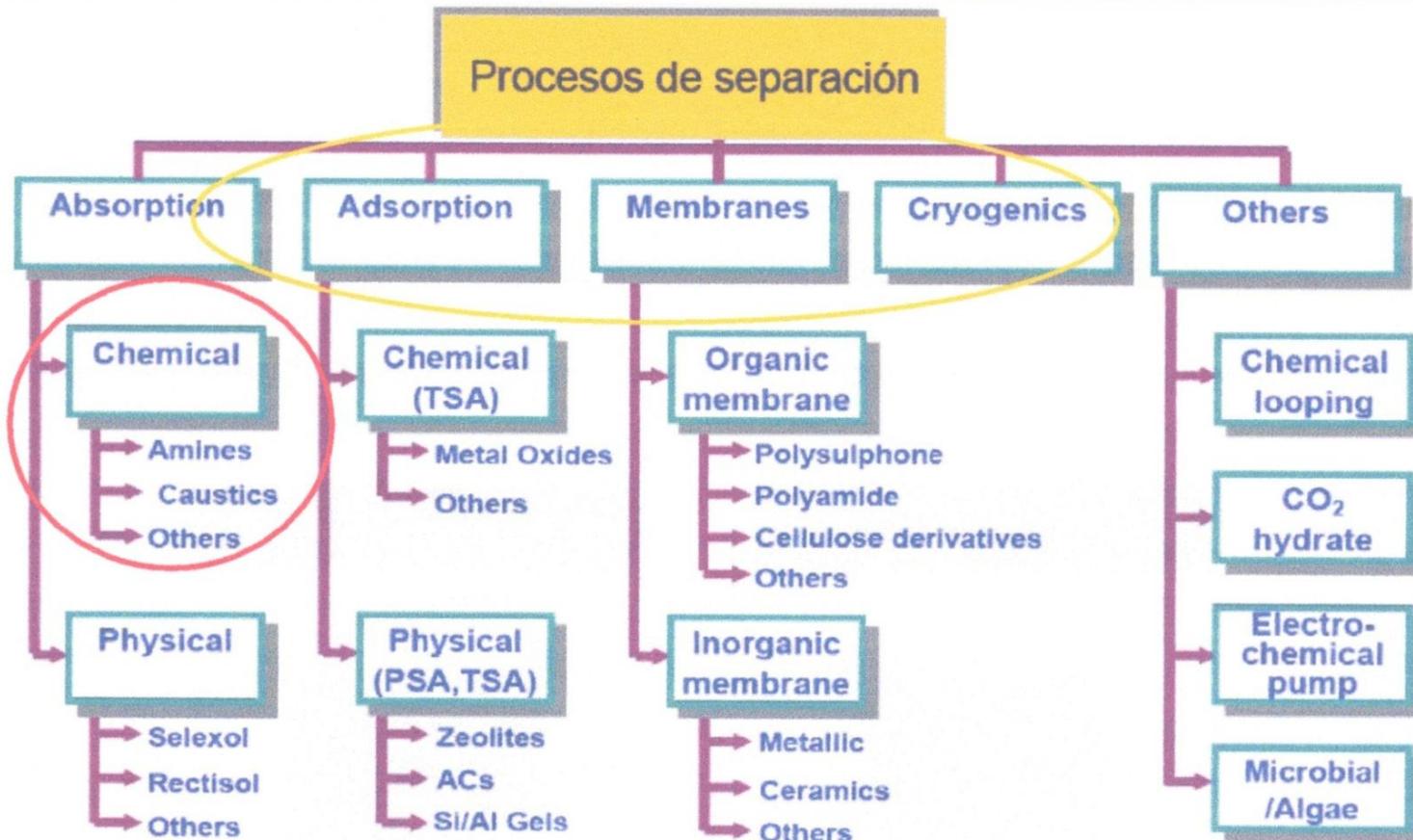
## *Posterior a la Combustión,* (Cont.)



- Centrales de carbón pulverizado, las cuales representan alrededor del 98 % de la capacidad total
- En una central térmica, el CO<sub>2</sub> aparece diluido en los gases que se emiten a la atmósfera debido al gran contenido de nitrógeno del aire utilizado en la combustión. La captura del CO<sub>2</sub> tiene como fin el obtenerlo concentrado, para poder así comprimirlo, ser transportado y, finalmente, almacenado

# TECNOLOGÍAS PARA CAPTURAR CO<sub>2</sub>

- Existen *distintas tecnologías* algunas ya *disponibles comercialmente* (delimitadas en rojo) y, otras, en *desarrollo* (en amarillo).
- Entre las primeras, la *captura por absorción* de CO<sub>2</sub> de corrientes gaseosas es una *operación madura* que se practica en la Industria de Procesos desde hace unos 100 años.



# TECNOLOGIAS COMERCIALES PARA CAPTURAR CO<sub>2</sub>

## *Absorción selectiva empleando solventes líquidos.*

Requiere:

- **Contacto** íntimo de los **gases y un solvente** que fluye en **contra corriente**, utilizando normalmente una torre rellena.
- **Regeneración del Solvente** por **calentamiento** o **reducción de presión**. Se realiza en una torre de desorción (stripper) en la que se libera el CO<sub>2</sub> relativamente puro.

Se distinguen:

- **Absorción Física:** El CO<sub>2</sub> es absorbido de acuerdo a la **Ley de Henry** (la masa de gas disuelta a temperatura constante en un volumen dado de líquido, es proporcional a su presión parcial en la corriente gaseosa en equilibrio con su concentración en el líquido). No es una tecnología muy difundida.
- **Absorción Química:** Determinada por el **equilibrio químico** de una **reacción reversible ácido débil/base débil**, acompañada o no de un cambio de fase. Según la reacción de este tipo que se utilice, se tienen diferentes tecnologías de absorción química del CO<sub>2</sub>, a saber, mediante **Alcanolaminas, Amoníaco y Salmueras Alcalinizadas**.

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

## *Posterior a la Combustión,* (Cont.)

### *Diagrama de Flujo (Convencional del Proceso de Absorción).*

- ❑ **Pretratamiento** de los humos de chimenea (Evita reacciones irreversibles con el solvente).
- ❑ **Enfriamiento** de los humos; variable según solvente empleado, entre 5° C y 60° C.
- ❑ **Preparación y Acondicionamiento del Solvente** (Concentración óptima de la solución acuosa, solvente puro).
- ❑ **Absorción** de CO<sub>2</sub>: química, a presión atmosférica, física, a mayor presión, generalmente 20 bar.
- ❑ **Lavado** con agua (evita arrastres de solvente y equilibra el balance de agua en el proceso).
- ❑ **Desorción** de CO<sub>2</sub>: química, mediante aporte de energía térmica, variable según solvente empleado, entre 70° C y 140° C), física mediante despresurización. Por lo general se recupera entre 80% y 95%, de CO<sub>2</sub> con una pureza elevada >99.5%
- ❑ **Efluentes y Pérdidas** de solventes. Las aminas tienden a descomponerse térmica y químicamente no así el NH<sub>3</sub>. Las pérdidas de solvente (aminas) oscilan entre 0.2kg y 1 kg/ton CO<sub>2</sub> recuperado, las de NH<sub>3</sub>, solo se deben a fugas con los gases de chimenea, muy inferiores a las anteriores.

# CAPTURA POSTCOMBUSTIÓN DE CO<sub>2</sub> EMPLEANDO ALCANOLAMINAS

## *Reacción Característica.*



## *Reactivos Comerciales más relevantes en este tipo de absorción*

<u>Denominación</u>	<u>Tecnología</u>	<u>Condiciones Termodinámicas</u>
Monoetanolamina en agua, MEA*	Kerr - McGee	Absorción: 40 – 50° C, P atm
Econamina (impedimento estérico y aditivos)**	ABB Lummus Fluor - Daniel	Regeneración: 120/140° C P atm
Metil - dietilamina en agua, MDEA	BASF	Idem
Aminas con impedimento estérico KS -1, KS - 2 y KS - 3***	Kansas Electric Mitsubishi	Idem

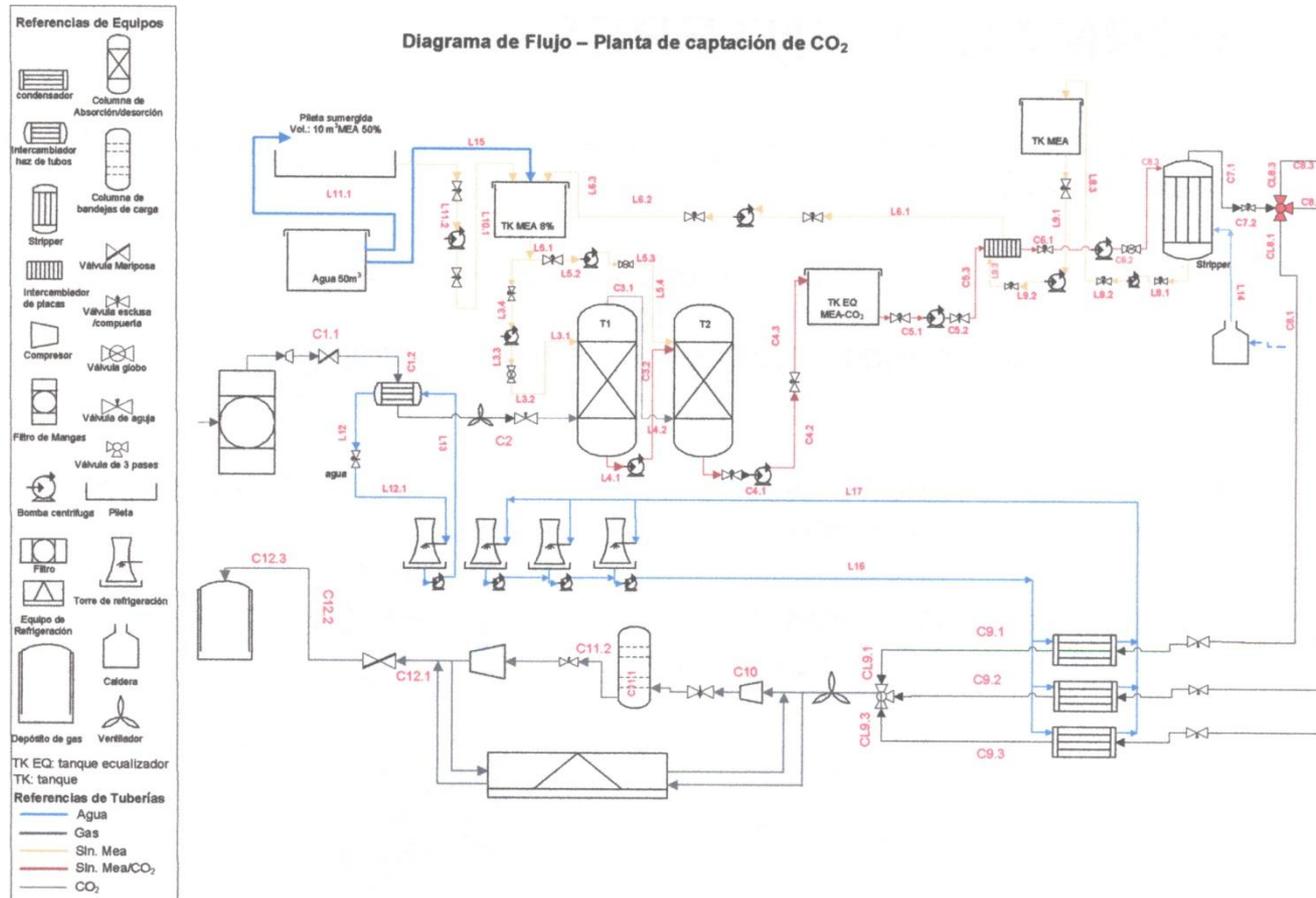
\* Tolera impurezas, es corrosiva y requiere un elevado consumo energético.

\*\* Menor consumo de energía y poco tolerante a contaminantes (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, etc).

\*\*\* Corrosión y requerimientos energéticos mínimos.

# CAPTURA POSTCOMBUSTIÓN DE CO<sub>2</sub>: Planta CNCSA, Uruguay

*Diagrama de Flujo del Proceso de Captación de CO<sub>2</sub> empleando MEA.*



Fuente: Proyecto curricular Absorción y Valorización de CO<sub>2</sub> en CNCSA, Carrera Ing. Qca., Facultad de Ingeniería, UdelaR, 2008-9

# CAPTURA POSTCOMBUSTIÓN DE CO<sub>2</sub>,

## *Planta CNCSA, Uruguay,* (Cont.)

- ❑ **Composición de los gases** (horno de calcinación de piedra caliza): **CO<sub>2</sub> 30%**, Agua 15%, N<sub>2</sub> 54%, O<sub>2</sub> 1%, PM 8 g/Nm<sup>3</sup>.
- ❑ **Producto final:** CO<sub>2</sub> licuado a -17° C y 20 bar.
- ❑ **Sistema de captura: Absorción química** mediante **MEA** (solución acuosa al 8%, mínima corrosión)
  - ❑ Costo MEA U\$S 4070/ton.
  - ❑ Venta solución MEA descartada (fabricación de productos de limpieza) a U\$S 2035/ton.
  - ❑ Consumo 0.24 kg MEA/ton CO<sub>2</sub>
- ❑ **Factor de capacidad:** 0.96
  - ❑ **Eficiencia de captura:** 83%  
(valor utilizado muy conservador) <> 33.6 kton/año <> 4 ton/h.
- ❑ **Inversión estimada:** U\$S 4:500.000 <> U\$S 118-134/ton CO<sub>2</sub> capturada/año. Valor menor corresponde a eficiencia de captura 94%.
- ❑ **Período de repago** (referido al total de producción anual comercializable al precio de este producto en el mercado local): **2 años**.
- ❑ **Costo producción:** U\$S190/ton CO<sub>2</sub> licuado y comprimido a 20 bar
- ❑ **Consumo estimado de energía:** 2924 kwh/ton [86% energía térmica (Entalpía desorción – reacción endotérmica – 472 kcal/kg CO<sub>2</sub>)].
- ❑ **Personal:** 16

# CAPTURA POSTCOMBUSTIÓN DE CO<sub>2</sub> EMPLEANDO AMONÍACO.

*La reacción general característica de este sistema de absorción es:*



La **combinación** de **CO<sub>2</sub>**, **NH<sub>3</sub>** y **H<sub>2</sub>O** produce carbonato de amonio, **CO<sub>3</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>** (PM 96.04), carbamato de amonio, **(NH<sub>4</sub>)NH<sub>2</sub>CO<sub>2</sub>** (PM 78.07) y éstos bicarbonato de amonio, **NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>** (PM 79.05) que, al saturarse su solución acuosa, **precipita como cristales sólidos, estables a 50° C.**

Entalpía, H, de formación de NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>: - 124 kJ/mol <> - 30.2 kcal/mol.

**Todos estos compuestos, se descomponen a 60° C en H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub> y CO<sub>2</sub>.**

- Las reacciones asociadas con la captura del CO<sub>2</sub>, arriba mencionadas, son:

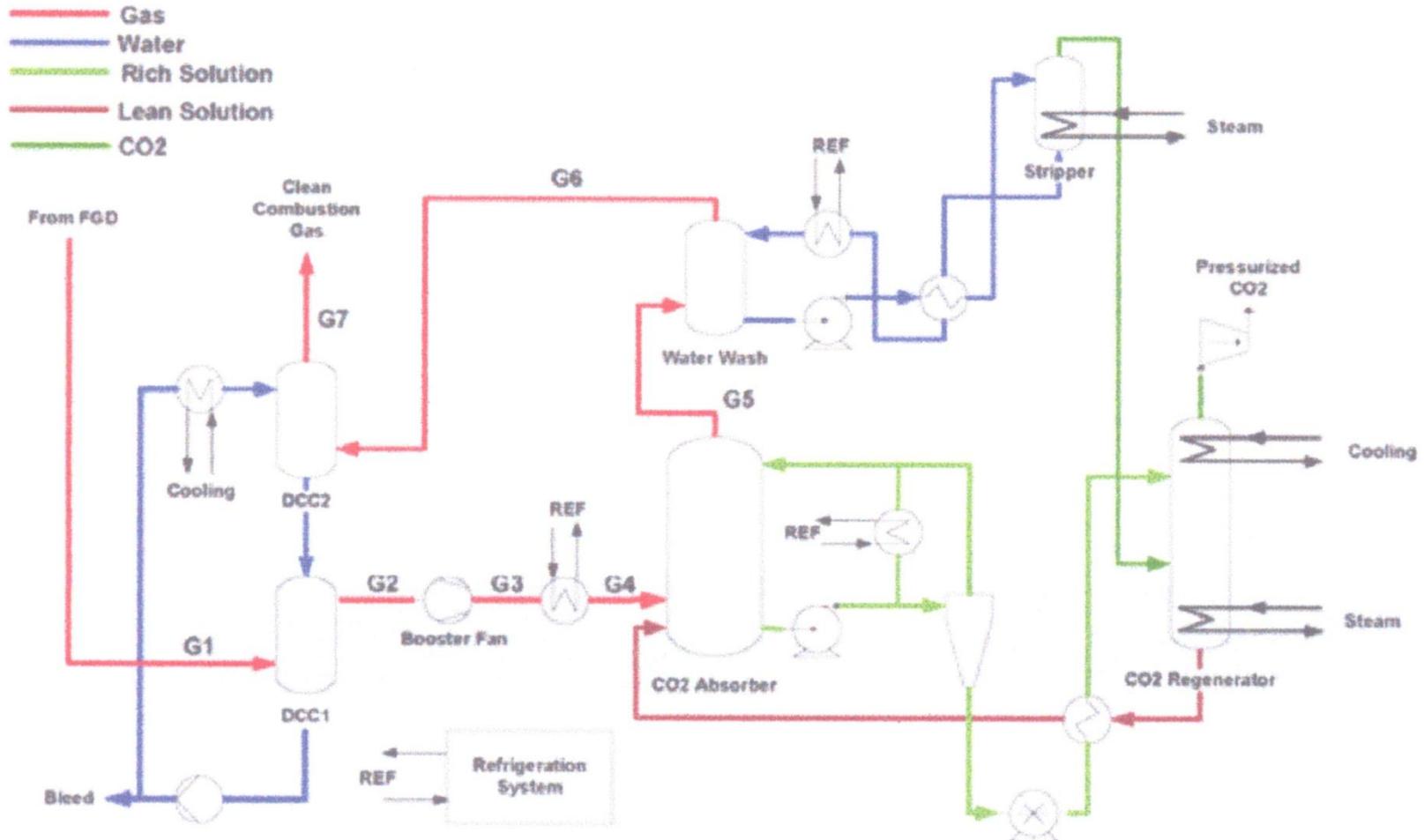


- Todas son **reversibles**, su **dirección depende de P, T y Conc.** en el sistema, siendo exotérmicas (entalpía H < 0) de izquierda a derecha y endotérmicas en el sentido contrario.
- El proceso de absorción de CO<sub>2</sub> se realiza entre 0/5° C**, rango de temperatura óptima por **minimizar las emisiones de NH<sub>3</sub> y maximizar la formación de bicarbonato de amonio.**

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

## *Posterior a la Combustión,* (Cont.)

### *Diagrama de Flujo – Chilled Ammonia Process, Alstom*



# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

## *Posterior a la Combustión,* (Cont.)

### *Chilled Ammonia Process, Alstom, descripción sumaria.*

Comprende:

- ❑ **Acondicionamiento de los gases de combustión** (en dos etapas).
- ❑ **Preenfriado** mediante **agua** (recirculada en torre de enfriamiento) en **contra-corriente** en **torre rellena**.  
Minimiza pérdidas de NH<sub>3</sub>, optimiza la formación de (NH<sub>4</sub>)HCO<sub>3</sub>, condensa el vapor de agua presente en los humos y elimina contaminantes eventualmente presentes – SO<sub>x</sub>, PM, HCl, HF - , paralelamente, purifica aun más los humos tratados (sin CO<sub>2</sub>) a ser liberados a la atmósfera.
- ❑ **Enfriado (intercambiadores de calor y sistema de refrigeración mecánica)**. Permite una **condensación de vapor de agua adicional** (puede usarse como agua de alimentación de la caldera).

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

## *Posterior a la Combustión,* (Cont.)

### *Chilled Ammonia Process, Alstom, Descripción Sumaria,* (Cont.)

- **Absorción de CO<sub>2</sub>.**

En **dos torres en serie**, con **relleno patentado** (optimiza la absorción química de CO<sub>2</sub> con NH<sub>3</sub> y la formación de bicarbonato de amonio sólido). Ambas torres, están provistas de intercambiadores de calor, atendidos por un sistema de refrigeración mecánica.

- **Lavado con Agua y Desorción de NH<sub>3</sub>.**

Los humos salidos de las torres, se lavan con agua en contracorriente en torre rellena, refrigerada como las anteriores (control del contenido en NH<sub>3</sub>).

El agua amoniacal obtenida, se trata en una columna de desorción empleando vapor generado en la planta de potencia. El NH<sub>3</sub> separado se retorna como reactivo al proceso y, el agua, se recicla a la torre de lavado.

Los gases salidos del lavador, previo a su descarga en la atmósfera, se someten, a un contacto directo con agua, en el pre-enfriador ya mencionado en la lámina anterior (mejora la recuperación de NH<sub>3</sub>).

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub>:

## *Posterior a la Combustión,* (Cont.)

### *Chilled Ammonia Process, Alstom, Descripción Sumaria,* (Cont.)

#### ■ **Regeneración del solvente.**

La **suspensión de NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>**, de las torres de absorción, pasa por un **hidrociclón** (aumenta la concentración de sólidos) y es **alimentada** en una **columna rellena para desorción**, provista de **intercambiadores de calor** para mantener la temperatura necesaria para su **descomposición (> 60°C)**.

El CO<sub>2</sub> liberado, acompañado de amoníaco y vapor de agua, sale por la cabeza de esta torre mientras que el solvente débil se descarga por su parte inferior intercambiando calor con la alimentación para reingresar a las torres de absorción, previo ajuste de su composición.

#### ■ **Acondicionamiento del CO<sub>2</sub>.**

El CO<sub>2</sub> gaseoso que sale de la parte superior de esa torre, pasa por un recipiente donde condensan vapor de agua y NH<sub>3</sub> presentes, asegurando concentraciones mínimas de éstos en aquél (H<sub>2</sub>O < 600 ppm y NH<sub>3</sub> < 50 ppm).

#### ■ **Compresión del CO<sub>2</sub>.**

El CO<sub>2</sub> resultante se comprime a unos 100 bar mediante un compresor reciprocante de dos etapas con enfriador entre etapas y posterior que dispone de by-pass de CO<sub>2</sub> a la chimenea de la planta de potencia.

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub> MEDIANTE ABSORCIÓN QUÍMICA: *Proyectos Demostrativos*

*Tecnología utilizada: empleo de aminas*

<u>Planta</u>	<u>Potencia</u>	<u>Empresas Asociadas</u>
Petronas Fertilizer Co. Malasia	*	Kansai E. P. – Mitsubishi
* Puesta en operación en 1999, recupera CO <sub>2</sub> planta NH <sub>3</sub> a partir de GN		
Charleston, USA – Carbón	2 MW <sub>r</sub>	Dow Chem. Co. – Alstom
Univ. of Texas, USA – Carbón	0.5 MW <sub>t</sub>	Univ. Texas- Alstom
Decatur, USA – Carbón	5 MW <sub>t</sub>	Archer Daniels – Alstom
Brindisi Sud, Italia- Carbón	600 MW <sub>e</sub>	ENEL
** Puesta en operación 2010; solución MEA 20%; ; se tratan 10000 Nm <sup>3</sup> / h de gases		
Belchatow, Polonia, Lignito ***	20 MW <sub>t</sub>	PGE – Alstom
*** Puesta en operación 2014		

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub> MEDIANTE ABSORCIÓN QUÍMICA: *Proyectos Demostrativos*, (Cont.)

## *Tecnología Utilizada: Amoníaco Enfriado*

<u>Planta</u>	<u>Potencia</u>	<u>Empresas Asociadas</u>
Stanford, USA, Gas y Carbón	0.25 MWt	EPRI – SFV – Alstom
Pleasant Prairie, USA, Carbón	5 MWt	EPRI – We E – Alstom
Mountaineer, USA, Carbón	58 MWt	EPRI – AEP – Alstom
Mountaineer, USA, Carbón *	235 MWe	EPRI – AEP – Alstom
North Eastern, USA, Carbón	>200 MWe	AEP – Alstom
Karlshamn, Suecia, Gas	5 MWt	E – On – Alstom
Mongstad, Noruega, Gas *	40 MWt	StatOilHydro – Alstom
Transalta, Canada, Carbón *	>200 MWe	Alstom

\* Puestas en operación previstas para el año 2015

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POST COMBUSTIÓN:

## Planta demostrativa

### *Mountaineer Power Plant, West Virginia, USA*

- Planta de generación de energía eléctrica, propiedad de American Electric Power, AEP, **1300MW de potencia, operada a carbón** y ubicada en West Virginia, USA.
- EL **primer proyecto demostrativo** consiste en la **captura de gases de chimenea equivalentes a 20 MWe** (1.5% del total de humos generados en la planta), programándose el **almacenamiento de unas 100.000 ton anuales de CO<sub>2</sub>** (11.5 ton/h <> 190 kg/min).
- En una **segunda etapa**, se programa capturar y almacenar las **emisiones equivalentes a 235 MW** (20% de su capacidad total).
- AEP y Alstom procuran obtener la **validación de toda la tecnología involucrada en el proceso integral de CAC en esta planta**, a saber, captura de CO<sub>2</sub> mediante NH<sub>3</sub>, inyección y almacenamiento geológico de aquél en areniscas (porosidad entre 8 – 13% y permeabilidad de 70 mD) con una potencia de 10 m de espesor ubicadas a unos 2400 m de profundidad, seguido de su monitoreo y vigilancia.
- El **almacenamiento geológico** está ubicado en **predio propiedad** de AEP.
- **Organismo validador** EPRI, Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, USA.

# COMPARACIÓN DE PROCESOS DE CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POSTERIOR A LA COMBUSTIÓN: *Aminas y Amoníaco.*

## ***Ensayos a escala de banco***

*(Alstom Research Lab, Vaxjo, Sweden y SRI Int).*

Determinaron que:

- la pureza del CO<sub>2</sub> obtenido es 99.9%
- el consumo de energía en la captura de CO<sub>2</sub> mediante NH<sub>3</sub> es menor que empleando aminas
- el costo del NH<sub>3</sub> es menor que el de las aminas y requiere una reposición (make up) más limitada que éstas.

# COMPARACIÓN DE PROCESOS DE CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POSTERIOR A LA COMBUSTIÓN:

## *Aminas y Amoníaco*, (Cont.)

- **Resultados Obtenidos Planta Demostrativa Mountaineer Power Plant, W. Virginia, USA.** (Fuente Scientific American, November 6, 2009).
  - ✓ Eficiencia de captura de CO<sub>2</sub> >90%
  - ✓ Reducción eficiencia energética 15% aprox.
  - ✓ Mayor costo generación U\$S 40/MWh.
  
- **Objetivos Alstom (2015):**
  - ✓ Reducción de Eficiencia Energética (Con captura/Sin captura) < 5%
  - ✓ Costo CO<sub>2</sub> evitado < U\$S 26/ton

# COMPARACIÓN DE PROCESOS DE CAPTURA POSTCOMBUSTIÓN DE CO<sub>2</sub>, *Aminas y Amoníaco* (Cont.)

*Estudio comparativo del desempeño de una planta de potencia, 500 MWe, quemando C pulverizado, sin CAC y con sendas similares, provistas de CAC, empleando, respectivamernte, MEA y NH<sub>3</sub>.*

<b>Concepto</b>	<b>Pta. Sin CAC</b>	<b>Pta. Con CAC-MEA</b>	<b>Pta Con CAC-NH<sub>3</sub></b>
Inversión ,1000U\$S	526	662	648
Potencia Generada MWe	462.1	329.5	415.5
Eficiencia % s/PCS	40.5	28.9	37.0
Costo de Energía , U\$S/MWh	51.5	85.6	62.1
Costo U\$S/Ton CO <sub>2</sub> evitado	---	51.5	19.7

Fuente: *La captura del CO<sub>2</sub>; la opción posterior a la combustión. J Chamberlain, Unión Fenosa, 2008*

***Los resultados anteriores, ponen en evidencia el mejor desempeño relativo de la captura que utiliza NH<sub>3</sub> con respecto al empleo de Alcanolaminas.***

# CAPTURA POSTCOMBUSTIÓN DE CO<sub>2</sub>; PROPUESTA CALERA-BETCHEL

Basada en la aplicación genérica de la ecuación siguiente:



La reacción clave propuesta **se inspira en el proceso clásico de ablandamiento** aguas mediante el **uso de cal / soda** pero empleando **salmueras naturales procedentes de perforaciones o agua de mar alcalinizadas** con soda y **precipitando el CO<sub>2</sub> absorbido**, como carbonatos, **mediante** agregado de **hidróxido de calcio**.

La propuesta se complementa con la deshidratación y secado del sólido separado para usar en la industria de la construcción o cementera.

Se trata de un **enfoque tecnológico, aun en sus primeros pasos**, cuya **viabilidad técnico-económica, que requiere ser demostrada y validada**, está **retrasada con respecto a las tecnologías que emplean alcanolaminas y amoníaco**.

- ❑ **Ventaja:** la separación del CO<sub>2</sub> como compuesto sólido estable utilizable, evitaría encarar la fase de su almacenamiento geológico.
- ❑ **Inconveniente:** necesidad de emplear 1.7 ton de cal anhidra/ton de CO<sub>2</sub> capturado y de disponer de 2.3 ton de carbonato de calcio anhidro/ton CO<sub>2</sub>. Una planta de potencia de 100 MW a carbón, requeriría consumir 100 ton/h de cal y disponer 130 ton/h de carbonato de calcio generado

# CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POSTERIOR A LA COMBUSTIÓN: Rango de Costos y su Incidencia en el Costo de la Energía Eléctrica Generada.

- Se indican seguidamente, rangos de valores de costo de inversión de plantas de generación de energía eléctrica, y de la electricidad producida, con y sin captura de CO<sub>2</sub>, para usinas operando con C pulverizado y Gas Natural, en Ciclo Combinado.

## ✓ **Costos de Inversión**

<u>Concepto</u>	<u>Central a PC</u>	<u>Central CCGN</u>
Sin Captura CO <sub>2</sub>	U\$S 1286/kW	U\$S 568/kW
Con captura CO <sub>2</sub>	U\$S 2096/kW	U\$S 998/kW
<i>Aumento % captura / sin captura</i>	63	76

## ✓ **Costos E. Eléctrica generada**

<u>Concepto</u>	<u>Central a PC</u>	<u>Central CCGN</u>
Sin Captura CO <sub>2</sub>	U\$S 46/MWh	U\$S 37/MWh
Con Captura CO <sub>2</sub>	U\$S 73/MWh	U\$S 54/MWh
<i>Aumento % captura/sin captura</i>	57	46
<i>Costo CO<sub>2</sub> capturado U\$S/ton</i>	41	53

Fuente: OMM, PNUMA, PICC, 2005 (Expresado en U\$S 2002)

## CAPTURAR DE CO<sub>2</sub> POSTERIOR A LA COMBUSTION, *Rangos de Costos*, (Cont.)

*A posteriori, se publicaron* trabajos que compilan múltiples *estudios de costos*, en un esfuerzo por *comparar los rangos de las estimaciones realizadas para distintas tecnologías de captura*, dada su incidencia en el costo global de aplicación de la CAC.

*Todos proporcionan estimaciones muy groseras* porque, en general, se trata de *recopilaciones* de trabajos realizados con diferentes supuestos, tecnologías, tipos y tamaños de plantas.

*Resumiendo pueden formularse las siguientes consideraciones:*

- **Costos de inversión de captura en plantas nuevas:** oscilan groseramente entre **U\$S1000/kW** (oxicombustión, MIT, 2007) a **U\$S 3500/kW** para plantas de IGCC (precombustión, EPRI,2007).
- **Incidencia de la captura en los costos de la EE generada** (en plantas que integran CAC): varía entre **U\$S60/MWh** y **U\$S120/MWh**. El valor mayor corresponde a plantas IGCC.
- **Costo referido a las emisiones evitadas:** oscila entre **U\$S30** y **U\$S90**; el valor mayor corresponde al empleo de aminas.

# CONCEPTO:

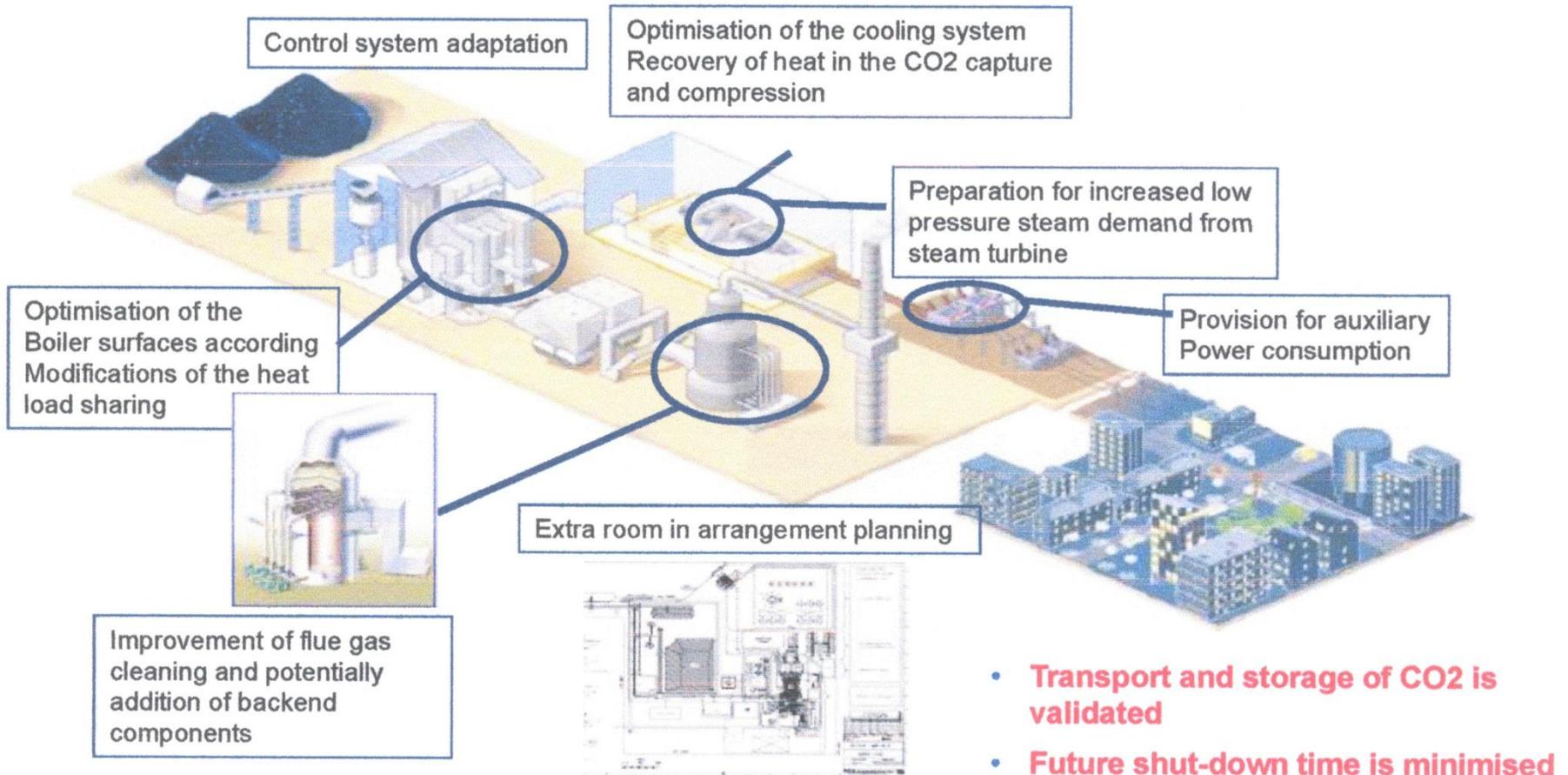
## “PLANTA PRONTA PARA CAPTURAR CO<sub>2</sub>”

*Definición (Capture Ready Plant):*

- ***Planta que puede incluir CAC cuando lo requieran los marcos regulatorios nacionales e internacional***
- ***Implica un estudio de diseño de la Captura de CO<sub>2</sub>***, incluyendo definición de áreas y acceso suficientes para ese equipamiento, y la identificación del modo de transporte y posterior almacenamiento de CO<sub>2</sub> capturado a implementar.
- Es una ***respuesta a las dilatorias e incertidumbres*** que existen ***en el mercado internacional*** con respecto a ***definir y aplicar un mecanismo vinculante de reducción de emisiones de GEI.***
- ***Surge como consecuencia:***
  - a) del ***costo de la inversión inicial*** de la captura de CO<sub>2</sub> (más del 30%, como mínimo, con respecto al costo de la planta sin instalaciones para su captura)
  - b) de la ***penalización energética*** que resulta de su implementación
  - c) de la ***incidencia*** de ambos factores en los ***costos de energía o de productos resultantes.***
- Procura que las ***nuevas plantas*** que se construyan y no incorporen sistema de captura, ***se diseñen para facilitar su posible implementación posterior.***

# CONCEPTO: “PLANTA PRONTA PARA CAPTURAR CO<sub>2</sub>” (Cont.)

*Ejemplo de aplicación a una Planta de Generación de Energía Eléctrica utilizando C.*



# TRANSPORTE DE CO<sub>2</sub>

- Por *tubería* (gasoducto) como **gas comprimido** a temperatura ambiente y a presiones superiores a 8 MPa <> 80 bar (**estado supercrítico**) o como **gas comprimido y licuado** (- 20°.C y 2 MPa <> 20 bar) en forma similar al transporte de GNL.
  - **Transporte por Gasoducto.**

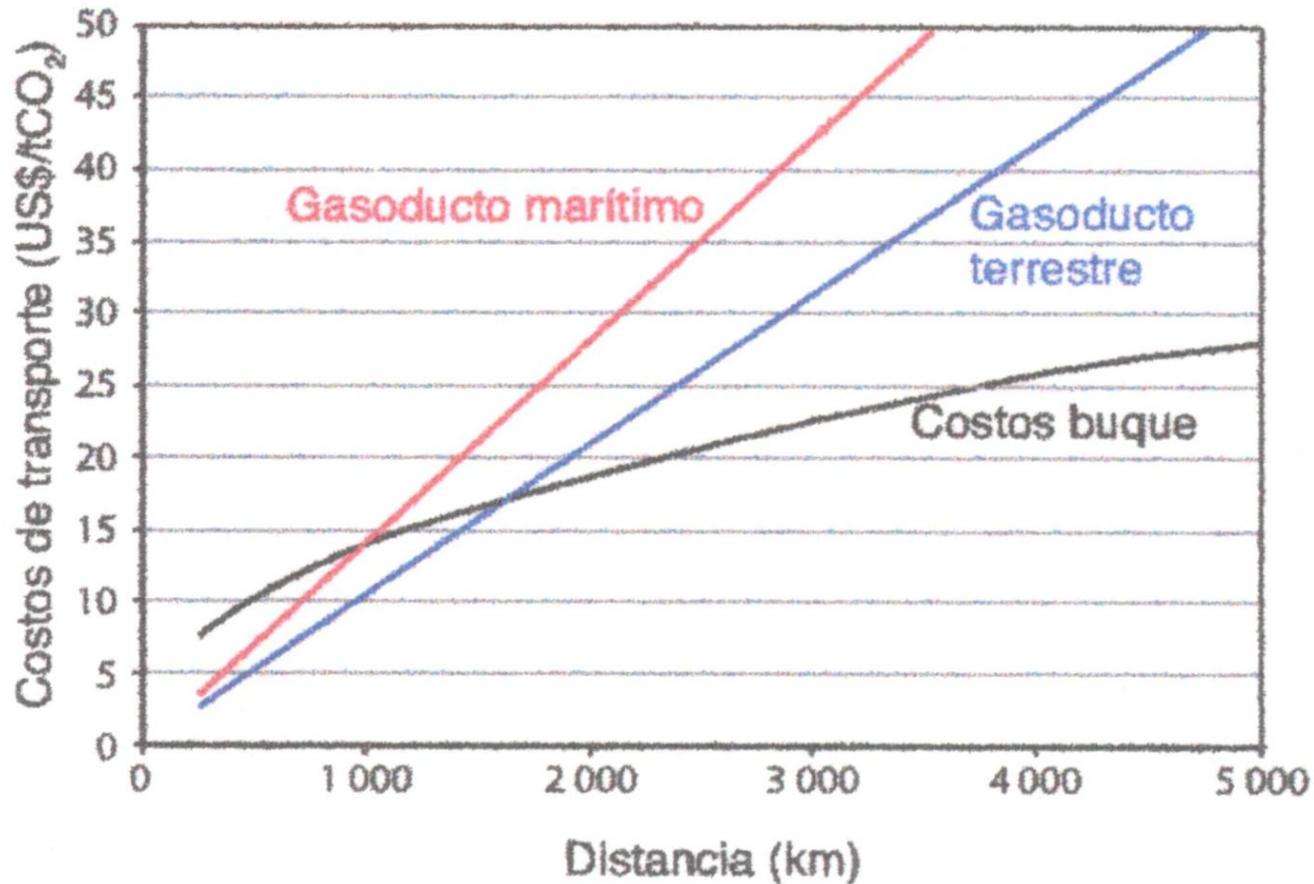
Tecnología madura, los primeros, se construyeron en USA en la década de los 70, preferentemente en Texas, para utilizarlo en recuperación de pozos petroleros agotados.

Está regido por normas de calidad y reglas de buen arte establecidas respecto a su construcción, selección de rutas, protección contra presiones excesivas, detección de fugas, etc.
  - **Transporte como Gas Licuado.**

Registran pérdidas por evaporación, entre 1 y 2% c/1000 km
- **Costo.**

Es función de la distancia, del modo de transporte y del flujo másico del gas

# ESTIMACIÓN DE COSTOS DE TRANSPORTE DE CO<sub>2</sub>



**Nota:** Flujo en Gasoductos 6 Mt/año

# SITIOS PARA ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO:

## *Definiciones*

- **Cuenca:** región geológica caracterizada por un plano orientado a un eje o a un centro.
- **Cuenca Salina:** *Formación* rocosa **profunda compuesta de materiales permeables** conteniendo fluidos con concentración salina elevada.
- **Permeabilidad:** Parámetro que mide la **capacidad que tiene un material granular**, roca, de **ser atravesado por un fluido**. Se expresa en **Darcies**, (permeabilidad que permite a un fluido con una viscosidad de 1 centipoise atravesar una estructura granular a una velocidad de 1 cm/s cuando se aplica un gradiente de presión de 1 atm.  
La permeabilidad varía en relación inversa con la granulometría.
- **Porosidad:** **Relación** entre los **espacios vacíos** en una roca sedimentaria y su **volumen total**. Suele expresarse en forma porcentual.  
Por lo general suele haber una estrecha relación permeabilidad/porosidad (rocas con 20% de porosidad suelen tener una permeabilidad de 100 mD).
- **Reservorio:** *Formación* rocosa **profunda** con **suficiente porosidad y permeabilidad** para almacenar fluidos.
- **Roca de Cubierta:** roca de muy **baja permeabilidad** que actúa como un sello superior que impide el flujo de fluidos fuera del reservorio.
- **Trampa:** *Estructura geológica* que **retiene físicamente fluidos**.

# SITIOS PARA ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO: *Caracterización de los Adecuados.*

Se trata de *Trampas*, es decir, **estructuras geológicas que retienen fluidos mediante los siguientes mecanismos:**

- **Retención física**, proporcionada por **rocas impermeables sobre la formación**; constituyen la roca de cubierta.
- **Retención geoquímica**, debida a la reacción del CO<sub>2</sub> con los fluidos presentes in situ y en la propia roca huésped.
- **Reacciones químicas** entre el CO<sub>2</sub> disuelto y los **minerales presentes**. Forman especies iónicas que, en la escala de tiempo geológica, se convierten en **carbonatos sólidos**.
- **Retención por adsorción**, debida a la presencia de Carbón o pizarras arcillosas ricas en sustancia orgánica; remplaza a los gases naturalmente presentes, tales como CH<sub>4</sub>.

El CO<sub>2</sub> supercrítico permanece retenido mientras las condiciones de P y T sean estables.

# SITIOS ADECUADOS PARA ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>

*Las formaciones apropiadas son:*

- **Cuencas Salinas:** reservorios de **rocas porosas y permeables que contienen agua con sales**. Formadas por areniscas y carbonatos, minerales dotados de **porosidad y permeabilidad adecuadas para almacenar fluidos**.

El **CO<sub>2</sub> inyectado ocupa los poros** desplazando parcialmente a los fluidos presentes. **Ocurren en cuencas sedimentarias** donde capas de arena y arcilla fueron comprimidas en una escala de tiempo geológica formando sellos naturales impermeables capaces de retener fluidos.

Las estimaciones del volumen potencial de almacenamiento oscilan por debajo del 30% del volumen total de roca.

- **Yacimientos petrolíferos** agotados o parcialmente agotados.
- **Yacimientos de gas** agotados o parcialmente agotados.
- **Capas de C** muy profundas.

Todas **disponen de una cubierta estanca** que **asegura** que el CO<sub>2</sub> almacenado **no se fuga**.

En el caso de los **yacimientos de petróleo, gas natural**, los **cierres de la estructura** que los confina fueron **probados por la propia naturaleza** al albergar su contenido sin fugas en condiciones de máxima seguridad.

# SELECCIÓN DE SITIOS DE ALMACENAMIENTO

Deben ser estancos al CO<sub>2</sub> en escala geológica, es decir, sin probabilidades de **Migraciones** (movimientos del CO<sub>2</sub> dentro y fuera del reservorio y de **Fugas** (escapes a la atmósfera).

Para verificarlo, se requiere:

□ **Realizar una caracterización estratigráfica y estructural detallada de la geología** del probable **sitio** y de su **área circundante** (mediante estudios sísmicos y perforaciones) para conocer:

- a) **la estanqueidad efectiva** de la **roca de cubierta**.
- b) **la potencia de la formación** de almacenamiento (volumen, porosidad y permeabilidad para **predecir** su rdto. y capacidad.
- c) **la posibilidad de escapes** desde el reservorio a través de **fallas, pozos o perforaciones** abandonadas que pongan en peligro la integridad de la roca huésped.

Incluye el empleo de herramientas de modelación, utilizadas en la prospección petrolera y gasífera y en ingeniería ambiental.

□ **Validar** las **simulaciones numéricas** que se realicen **mediante mediciones** directas en los sitios de almacenamiento.

□ **Ejecutar una Inyección Experimental** de CO<sub>2</sub> y **Monitorear** la estructura profunda y superficial, en procura de migraciones y fugas.

# RIESGO DE MIGRACIONES Y FUGAS DE CO<sub>2</sub>.

- **Migraciones:** movimiento de CO<sub>2</sub> dentro y fuera de un reservorio geológico.
- **Fugas:** escape del CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Ambas implican riesgos en distintas escalas.

a) **Globales:** Liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera que **contribuye al CC.**

Si el CO<sub>2</sub> migra por una falla no detectada en la roca porosa y permeable del reservorio, puede ser transportado hasta la superficie a varios km del sitio en un momento dado.

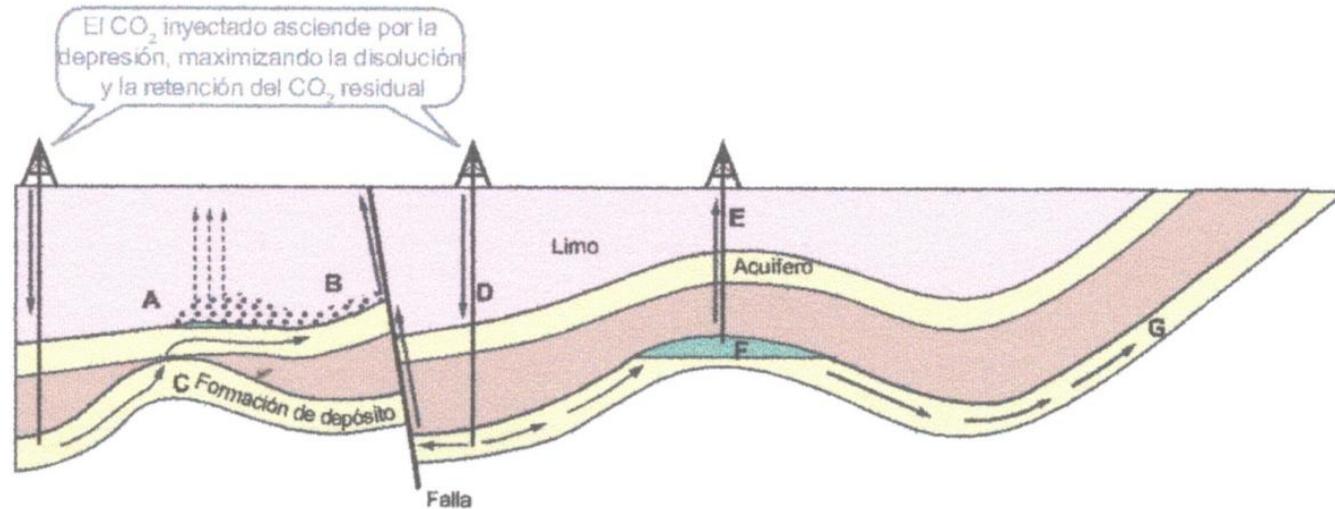
b) **Locales:** Pueden afectar a personas, ecosistemas y aguas subterráneas.

Se distinguen:

- i. **fallas en pozos de inyección o fugas en pozos petrolíferos o gasíferos abandonados.** Generan una liberación repentina siendo fáciles de detectar y controlar.
- ii. **Fugas a través de fracturas no detectadas o por pérdidas difusas en pozos.** Afectan principalmente los acuíferos de agua potable, los ecosistemas en los lugares donde el CO<sub>2</sub> se acumule sobre la superficie de la tierra y la parte superior de la napa freática.

- ❖ Estos **riesgos** determinan la **mayor preocupación social** con respecto a la efectividad de la CAC. Antecedente natural: Lago Nyos, Camerún, 1996.

# RIESGO DE MIGRACIONES Y FUGAS DE CO<sub>2</sub> (Cont.)



## Mecanismos de escape potenciales

**A.** La presión del gas de CO<sub>2</sub> supera a la presión capilar y atraviesa el limo

**B.** CO<sub>2</sub> libre se filtra desde A hasta el acuífero superior a través de la falla

**C.** Fuga de CO<sub>2</sub> a través de la "brecha" en la roca de cubierta hacia el acuífero superior

**D.** El CO<sub>2</sub> inyectado asciende por la depresión, aumenta la presión del depósito y la permeabilidad de la falla

**E.** Escape de CO<sub>2</sub> por un viejo pozo abandonado mal sellado

**F.** Flujo natural disuelve el CO<sub>2</sub> en la interfaz de separación CO<sub>2</sub>/agua y lo transporta fuera del cierre

**G.** El CO<sub>2</sub> disuelto escapa a la atmósfera o al océano

## Medidas de saneamiento

**A.** Extraer y depurar aguas subterráneas

**B.** Extraer y depurar aguas subterráneas

**C.** Eliminar CO<sub>2</sub> y reinyectarlo en otro lugar

**D.** Índices o presiones de inyección inferiores

**E.** Volver a sellar debidamente con cemento

**F.** Interceptar y reinyectar CO<sub>2</sub>

**G.** Interceptar y reinyectar CO<sub>2</sub>

# INYECCIÓN DE CO<sub>2</sub> EN FORMACIONES GEOLÓGICAS

- Emplea *tecnologías de uso habitual en prospección y explotación de petróleo y de gas natural.*
- **Comprende** las *instalaciones de superficie* (almacenamiento, cañerías, eventuales equipos adicionales de recompresión), dispositivos de *inyección, medición y control* del CO<sub>2</sub> a inyectar (P, T, velocidad de gas, etc.) y de *seguridad* aptos para **uso con CO<sub>2</sub> supercrítico.**
- Se asegura la estanqueidad de los pozos de inyección mediante el empleo de **cementos para sellado** entre la cañería y las formaciones geológicas y de **tubos de acero al C** para las **cañerías** que sean **resistentes al CO<sub>2</sub>** y a las características de los **líquidos presentes en esas formaciones.**
- Los **pozos de inyección** constituyen eventuales puntos de fuga de CO<sub>2</sub> por lo que **deben ser monitoreados adecuadamente.**

# ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>, (Cont.)

## ■ **EXPERIENCIA.**

1. Se dispone de experiencia, en particular, en ***tres proyectos a escala industrial*** que, en su conjunto, reciben 1 Mton CO<sub>2</sub> anuales, sin haberse verificado problemas hasta ahora, a saber:
  - Skeipner, Mar del Norte
  - Weyburn, Canada
  - In Salah, Argelia.
2. A ellos, se suma el ***trabajo de evaluación de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en una veta de C*** en Burke County, North Dakota, USA (90 ton en 2009).
3. ***A las experiencias anteriores deben agregarse las de inyección de CO<sub>2</sub> para recuperar pozos petroleros y*** en menor grado, ***gasíferos***, mediante las técnicas de recuperación asistida con CO<sub>2</sub>, ***EOR*** (aplicable a pozos petroleros de crudos livianos agotados mejorando su extracción alrededor del 10%) y CO<sub>2</sub>, ***EGR*** (aun en escala piloto, aplicable cuando se ha extraído entre 80% y 90% del GN).

- ***Salvo Skeipner que emplea la cuenca salina Utsira***, los otros dos proyectos (Weyburn e In Salah, ***se refieren a yacimientos de petróleo y de gas natural agotados***.
- Otros ***proyectos*** en marcha que emplean ***formaciones salinas*** son Frio y Mountaineer, en USA, y Sonbvit, Noruega.
- ***GESTIÓN DE SITIOS.*** La ***vigilancia y verificación de fugas*** de sitios ***son parte de su gestión; recién*** se está ***iniciando la normalización de sus procedimientos***

# ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>, (Cont.)

## ■ **PERCEPCIÓN SOCIAL**

En general, el **público no está informado**; pero, en atención a **encuestas realizadas**, la **CAC**, se valora **menos favorablemente** que otras opciones de mitigación, tales como **mejora de la eficiencia energética** y **empleo** de fuentes de **Energías Renovables**.

Dadas sus implicancias económicas, probablemente se **acepte** con **reticencias**.

Recientemente se han verificado dos actitudes contrapuestas:

1. **Provincia de Alberta, Canadá:** Está considerando la **aprobación de un proyecto de regulación para el almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>** basado en la responsabilidad civil de largo plazo sobre el CO<sub>2</sub> inyectado y almacenado y la obligatoriedad de disponer de un fondo financiado por los operadores de la CAC (cubre costos de monitoreo y eventuales medidas de mitigación).  
Duda. Cuánto tiempo debe monitorearse un almacenamiento geológico?
2. **Barendrecht, Holanda:** Se **desechó un proyecto de Royal Dutch Shell** (almacenamiento de 1.7 Mton CO<sub>2</sub> en un campo gasífero agotado) por la **preocupación de la sociedad civil sobre el carácter experimental de esta autorización** y su **posible efecto negativo sobre el valor de las propiedades en la zona**. Tener presente que Holanda proyecta almacenar unas 30 Mton de CO<sub>2</sub>

# QUÉ SOBRE EL ALMACENAMIENTO OCEÁNICO DE CO<sub>2</sub>?

- **Entre la *superficie de los océanos***, que ocupan el 70% de la superficie terrestre con profundidades de hasta 3800 m y la ***atmósfera***, existe ***intercambio de CO<sub>2</sub> (Ley de Henry)***.
- Anualmente, se absorben unas 7 Gton de CO<sub>2</sub> que permanecen, en su mayor parte, en las capas más superficiales dando lugar a una reducción de una décima en el valor de su pH medio.
- Además de este mecanismo natural de almacenamiento del CO<sub>2</sub>, puede inyectarse en los fondos oceánicos (>1000 m), transportando el CO<sub>2</sub> por gasoducto o barco.
- El CO<sub>2</sub> que se disuelve y dispersa en la columna de agua o en el fondo marino se integra en parte al ciclo global de C.
- ***La viabilidad del almacenamiento oceánico de CO<sub>2</sub> no está demostrada experimentalmente*** continuando en fase de investigación (no se conocen los efectos crónicos de la inyección de este gas sobre los organismos marinos durante largos periodos de tiempo).

# QUÉ SOBRE EL ALMACENAMIENTO OCEÁNICO DE CO<sub>2</sub>? (Cont.)

- La inyección de CO<sub>2</sub> ***puede dañar la biota marina*** por reducción del pH y provocar, incluso, ***mortandad en las proximidades de los puntos de inyección.***
- Hasta ahora ***no se han adoptado decisiones internacionales*** sobre la condición jurídica del posible ***almacenamiento oceánico de largo plazo*** de CO<sub>2</sub>, sin embargo, de acuerdo a la Convención de Londres, ***no estaría permitida su disposición en los mares.***
- En la ***sociedad civil se perciben más preocupaciones y reparos por el almacenamiento oceánico de CO<sub>2</sub> que por el geológico en cuencas salinas.***
- Existe, incluso constancia de una oposición significativa en torno a una propuesta para realizar en fase experimental una liberación de CO<sub>2</sub> en el Océano Pacífico.
- ***En conclusión, no se considera una opción adecuada de almacenamiento de CO<sub>2</sub> de muy largo plazo y fuera del contacto con la atmósfera.***

# ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>, (Cont.)

## ■ ***COSTOS ESTIMADOS.***

Tienen un ***elevado grado de confianza*** porque las tecnologías y equipos empleados, en esta fase de la CAC, son de uso generalizado en la prospección y extracción de petróleo y gas.

Las estimaciones representativas de los costos de almacenamiento en formaciones geológicas adecuadas están en el rango de U\$S1-10/ton CO<sub>2</sub>.

Los costos menores corresponden a yacimientos petrolíferos y gasíferos agotados que, también, aseguran la mayor estanqueidad.

.

# ¿LA CUENCA SALINA DE SANTA LUCÍA, POSIBLE RESERVORIO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>?

## ***Antecedentes:***

- ❑ 1951 – 54: Perforación del Inst. Geológico procurando agua subterránea para abastecer a San Jacinto. Centenares de metros sin alumbrar agua. ***Despierta interés de ANCAP con fines de estudios en busca de hidrocarburos.***
- ❑ 1955 – 59: ANCAP inicia una primera prospección petrolífera sistemática (sísmica, gravimetría y perforaciones profundas).
- ❑ 1975 – 79: ANCAP realiza una segunda prospección completa de hidrocarburos.
- ❑ 1980: ***ANCAP concibe el uso de la cuenca para almacenar GN*** dada la ausencia de potenciales reservorios para este fin en las proximidades de Buenos Aires y en un radio de 500 km.
- ❑ 1990: ***ANCAP implementa la promoción internacional de este proyecto*** y lleva a cabo un estudio de prefactibilidad técnica, económica y comercial de este reservorio (Gas de France, CMS, Nova, Techint, CGC y ANCAP).
- ❑ 2000 hasta el presente: ***Priman situaciones desfavorables para llevar adelante un proyecto de estas características.***

# ¿LA CUENCA SALINA DE SANTA LUCÍA, POSIBLE RESERVORIO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>? (Cont.)

## ■ **Descripción.**

Se trata de una **cuenca “pull apart”**, que cubre un área de 10.500 km<sup>2</sup> en el Sur de l país.

Está **dividida en 2 sub-cuencas N y S (la más interesante)**, separadas por el Alto de Santa Rosa; ambas funcionaron en forma efectiva como ámbitos de **sedimentación independiente**.

## ■ **Composición.**

Existen **areniscas fluviales (formación Migués)** que conforman la mayor parte del relleno de la cuenca, superando los 2000 m de potencia, con **valores máximos de porosidad de alrededor del 20%** y **permeabilidades comprendidas entre 100 y 300 mD**.

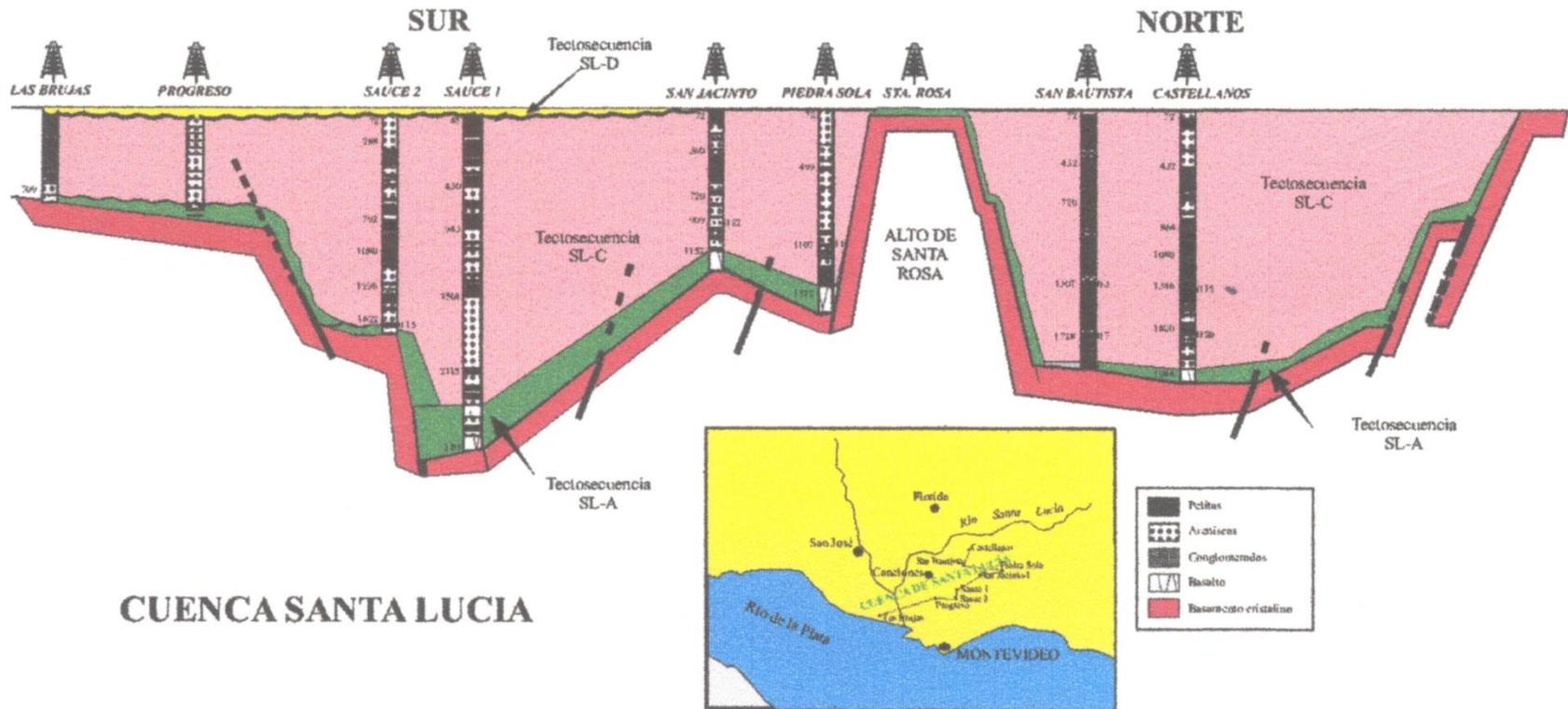
Los **sellos** están conformados por pelitas lacustres de las **formaciones Castellanos y Migués** que alcanzan potencias superior a los 100 m.

## ■ **Base de Datos.**

Incluye **625 km de perfiles sísmicos** (cubren 4000 km<sup>2</sup>) y **13 perforaciones**

# ¿LA CUENCA SALINA DE SANTA LUCÍA, POSIBLE RESERVORIO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>? (Cont.)

## Corte Geológico.



# ¿LA CUENCA SALINA DE SANTA LUCÍA, POSIBLE RESERVORIO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>? (Cont.)

- **Consideraciones sobre su Viabilidad como Almacenamiento Geológico de CO<sub>2</sub>.**

En su **subcuenca Sur**, que tiene una extensión de 4000 km<sup>2</sup>, se han realizado los mayores esfuerzos de **estudio para evaluar su capacidad de almacenamiento de gas.**

**A pesar de sus hasta ahora características favorables** para almacenamiento de gas, **aun no puede ser considerada apta para el almacenamiento de CO<sub>2</sub>.**

- **Es necesario**, para ello:

- Identificar los plays de almacenamiento**
- Definir si** las situaciones, que se consideran más favorables, **disponen de estructuras cerradas** que no permitan la migración de gas.
- Evaluar**, dentro de la cuenca, **las condiciones más favorables mediante estudios sísmicos complementarios.**
- Deducir que sirven para acumular CO<sub>2</sub>** en forma confiable y segura
- Comprobado lo anterior, **realizar una inyección experimental y monitorear su estanqueidad.**

De **confirmarse su viabilidad, sería factible su posible uso futuro como reservorio de CO<sub>2</sub>**, existiendo interés internacional en establecer alianzas estratégicas al respecto.

# LA CAC COMO ACTIVIDAD DE PROYECTO MDL

- La *Junta Ejecutiva, JE, del Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL*, solicitó oportunamente un *informe*:
- *“Implications on the Inclusion of Geologic CO<sub>2</sub> Capture and Storage as CDM Project Activity”*.
- *Su propósito* era evaluar su *posible inclusión como actividad de proyecto* dentro de este mecanismo de flexibilización de la mitigación de emisiones incluido en el *Protocolo de Kioto*.
- Este informe ampliado fue considerado por la JE en octubre 2009 y *concluyó recomendando su no inclusión* en atención a varias observaciones. Las más relevantes, se resumen en la lámina siguiente.
- Posteriormente, en el transcurso de la COP/MOP realizada en Cancun, diciembre 2010, se retomó y avanzó positivamente en este tema aprobándose una resolución por la que se considera que la *CAC es elegible como actividad de proyecto MDL, sujeto a que esas observaciones sean consideradas y resueltas satisfactoriamente*.
- La resolución, también, solicita que se elaboren modalidades y procedimientos como propuesta a considerar como resolución en la reunión a realizarse en Durban, Diciembre 2011.

# LA CAC COMO ACTIVIDAD DE PROYECTO MDL, (Cont.)

Entre las observaciones a resolver, se mencionan:

- ***No se dispone de criterios consensuados para evaluar la caracterización*** de sitios de almacenamiento geológico.
- Un ***reservorio puede extenderse en diferentes países o aguas internacionales*** y la fuga de CO<sub>2</sub> puede migrar atravesando fronteras políticas.
- ***No se dispone de protocolo de monitoreo de largo plazo establecido.***
- ***Sólo se monitorean y verifican*** las cantidades de ***CO<sub>2</sub> capturado e inyectado.***
- De producirse fugas. la ***responsabilidad de un país huésped no es garantía,*** por cuanto la ***estabilidad*** política, institucional y económica ***no puede asegurarse en el muy largo plazo.***

# ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL ORDEN DE COSTOS DE LA CAC

- *No se dispone de experiencia suficiente en la integración de la captura, transporte, inyección, almacenamiento geológico y su monitoreo y gestión.*
- *La bibliografía señala un rango muy amplio de costos que refleja la variabilidad de cada situación concreta y la incertidumbre de algunos de sus componentes.*
- *Seguidamente se indican, a título ilustrativo, los rangos aproximados estimados para cada componente.*
- *El costo global del sistema no es la simple suma de ellos.*

# ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL ORDEN DE COSTOS DE LA CAC, (Cont.)

<b><i>Componente</i></b>	<b><i>Rango*</i></b>	<b><i>Observaciones</i></b>
<b><i>Captura CO<sub>2</sub></i></b>		
Central de E. Eléctrica (C-GN).	20 - 75	Eficiencia de captura 90%
Pta. Ind. de Procesos	25 - 115	Distintas aplicaciones y combustibles
<b><i>Transporte</i></b>	1 - 10	250 km gasoducto o buque **
<b><i>Almacenamiento Geológico</i></b>		
Inyección/almacenamiento	1 - 10	Excluye ingresos potenciales de EOR/EOG
<b><i>Monitoreo, Vigilancia, Gestión</i></b>	0.1 - 0.3	

\* U\$/ Ton CO<sub>2</sub>, capturado, transportado, inyectado.

\*\* Flujo másico anual 40 y 5 Mton CO<sub>2</sub> anuales respectivamente.

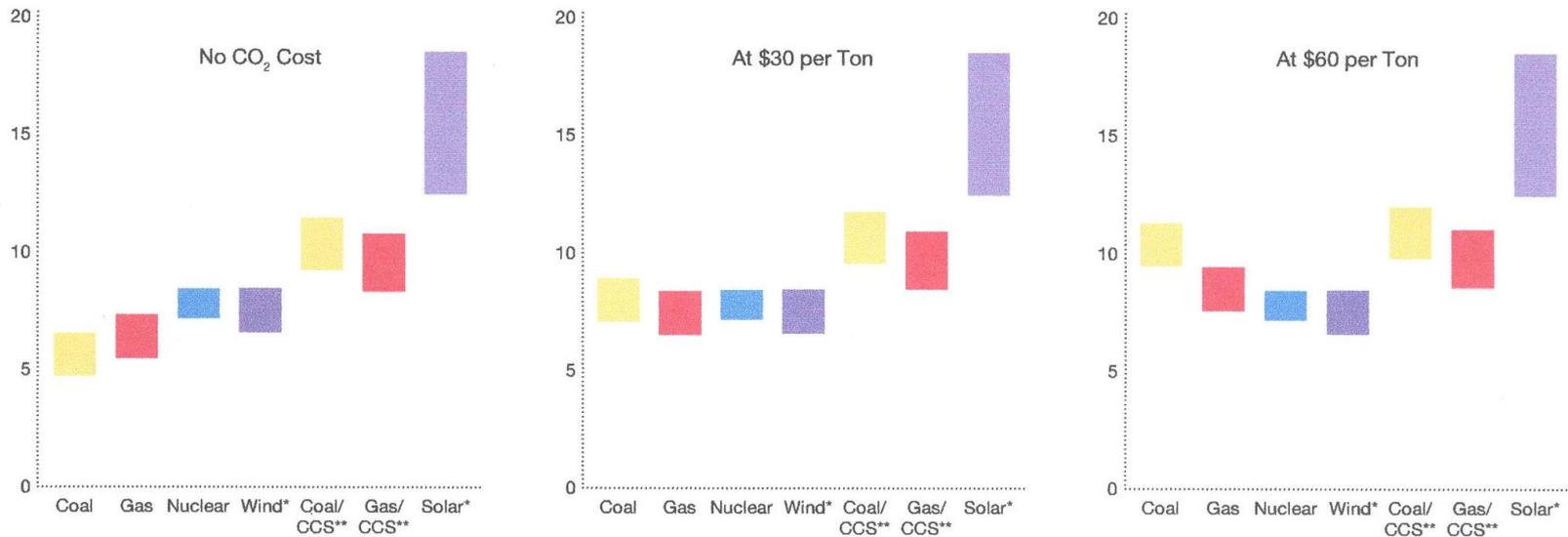
Fuente: Captación y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>, OMM, PNUMA y PICC, 2005

# ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL ORDEN DE COSTOS DE LA CAC, (Cont.)

- ***Los valores indicados en la lámina anterior, deben ser complementados en lo que respecta a captura con los ya presentados, comprendidos entre U\$\$60 y U\$\$120 y expresados en U\$\$/ton CO<sub>2</sub> emitido y evitado.***
- Tratar de profundizar más en este tema, dadas las limitaciones de información existentes y el marco internacional imperante no se considera oportuno ni aplicable.
- No obstante, ***estimamos ilustrativo hacer referencia a 3 gráficos que incluye Exxom Mobil en su publicación Outlook for Energy, A View to 2030.***
- ***Comparan el rango estimado de los costos de energía eléctrica generados en plantas de potencia al firme, para el año 2025 y expresados en dólares de 2009 en función del combustible primario (C y GN sin y con CAC, eólica, nuclear y solar) para 3 escenarios: sin tasa y con tasas crecientes de U\$\$30/ton y U\$\$60/ton de CO<sub>2</sub> emitida y evitada.***

# ESTIMACIÓN PRELIMINAR DEL ORDEN DE COSTOS DE LA CAC, (Cont.)

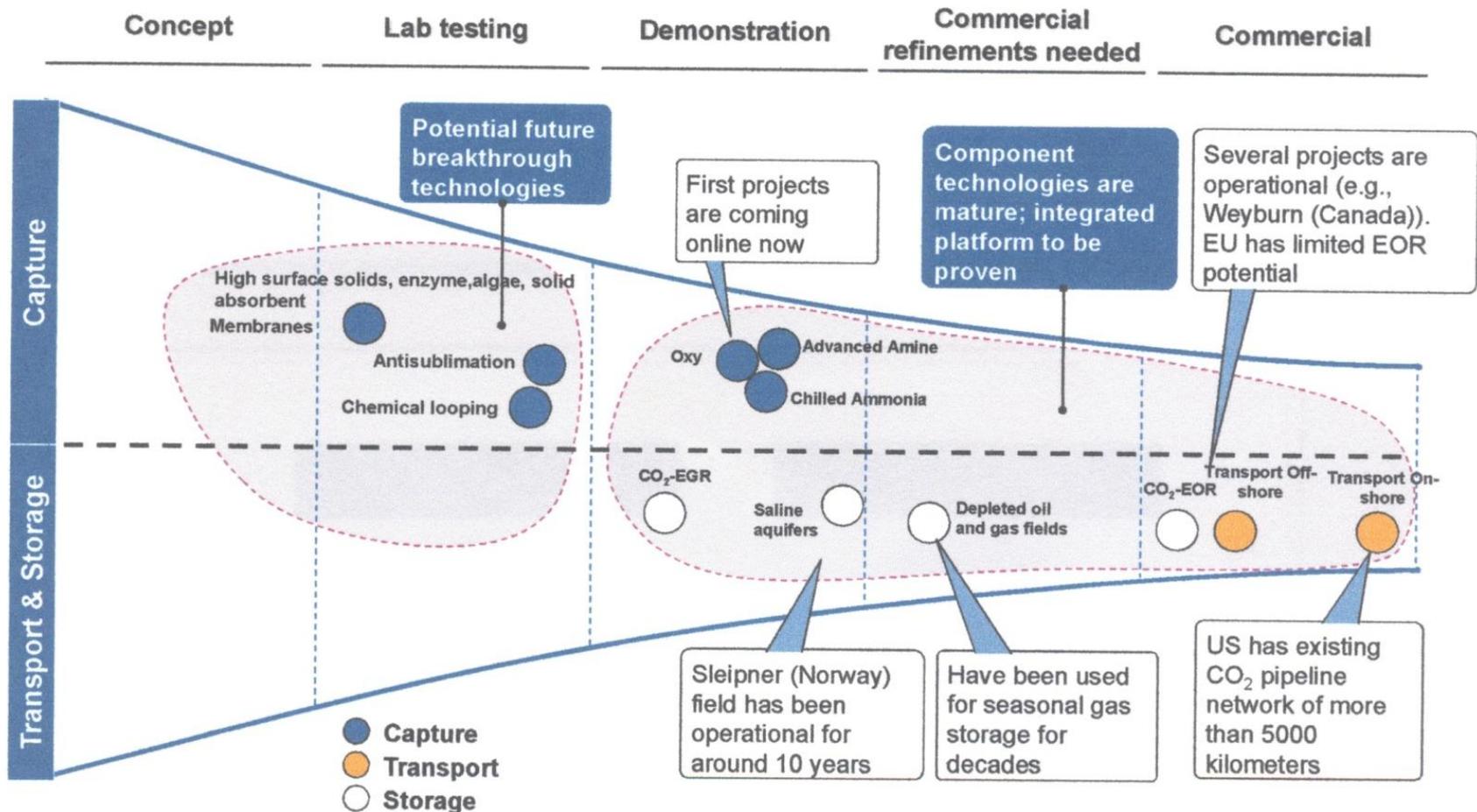
- Costos del KWh en U\$S cents 2009.



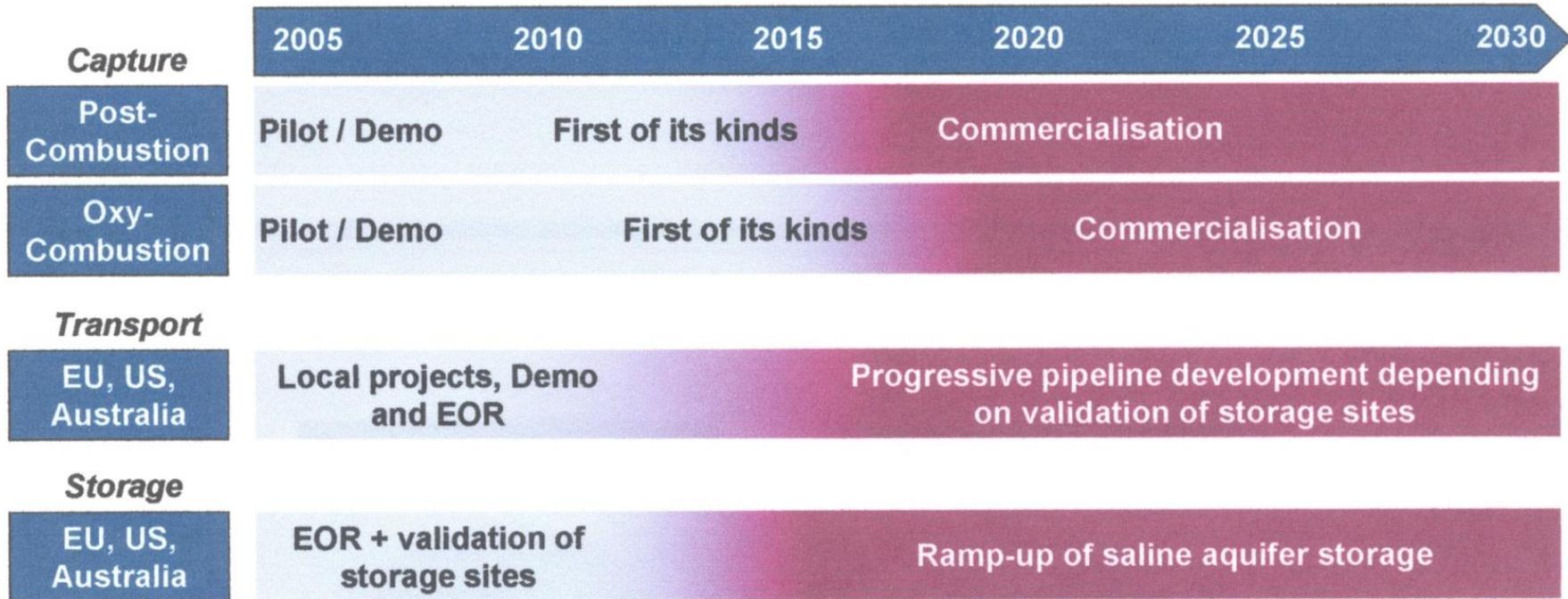
## ■ Conclusiones:

- *Es imprescindible reducir los costos de inversión y de operación y mantenimiento de la etapa de captura .*
- *Deben incluirse medidas de mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes de la combustión y gasificación de combustibles fósiles, aun empleando GN como fuente primaria, para evitar sus externalidades y enfrentar adecuadamente los efectos negativos del CC*

# ESTADO ACTUAL DEL DESARROLLO MUNDIAL DE LA CAC



# EVOLUCIÓN FUTURA PROYECTADA DE LA CAC



CCS will be commercial in 2015

# LA CAC COMO MECANISMO DE MITIGACIÓN DEL CC: *Algunas Reflexiones.*

- La **energía es esencial para el desarrollo**. Proporciona servicios para el **mejoramiento** continuado de la **calidad de vida de la humanidad**, sin embargo, en la actualidad 2000 millones de personas no tienen acceso adecuado a ella.
- **Desafíos de la Humanidad en este siglo:**
  - i. realizar la **transición a un futuro energético sostenible**, atendiendo las necesidades energéticas con **eficiencia y eficacia**, en el marco conceptual del **Desarrollo Sostenible**.
  - ii. **reducir significativamente las emisiones de GEI**. Requiere un grado elevado de compromiso responsable y de su cumplimiento global para que el mundo se decida el mundo a limitar y reducir su concentración en la atmósfera.
  - iii. **lograr que el uso de C**, como fuente de energía fósil **no contribuya a la degradación ambiental y al CC, haciendo posible el empleo de C limpio**.
- El **desarrollo sostenible** de la humanidad es **imposible sin hombres y dirigentes rectos, que sientan en sus conciencias el bien común**; para ello, se necesita integrar la **preparación profesional y la coherencia moral**.
- El modelo económico mundial actual, **consumista, compromete los esfuerzos para combatir el CC** al no acordar un **costo** a las **acciones que dañan** o afectan al Medio Ambiente incluyendo a **las emisiones de C..**

# LA CAC COMO MECANISMO DE MITIGACIÓN DEL CC: *Algunas Reflexiones*, (Cont.)

- El CC sigue instalándose en el planeta y los acuerdos internacionales para enfrentarlo son muy lentos.
- Desde la Cumbre de Río 1992, Protocolo de Kioto, 1997 y su entrada en vigencia, 2005, COP 15 Copenhagen 2009 hasta COP 16 Cancun 2010, solo hay lentos y magros resultados de compromisos vinculantes de reducción de emisiones a nivel internacional.
- ***Mantiene vigencia lo expresado por Kofi Annam (ex Secr. Gral NNUU) en COP 12, Nairobi, 2006:***
  - El CC no es un asunto de ciencia ficción, no es solo un tema medio ambiental.
  - ***El impacto del CC caerá en forma desproporcionada entre los más pobres.***
  - Hay mucho que hacer y es aterradora la falta de liderazgo en la lucha internacional contra el CC.

# LA CAC COMO MECANISMO DE MITIGACIÓN DEL CC

## *Algunas Reflexiones*, (Cont.)

**Investigadores**, tales como, **M.Z Jacobson y M. Delucchi** proponen **evitar el CC atendiendo las demandas energéticas mediante el Viento, el Agua y el Sol** (Evaluating the feasibility of a large scale Wind, Water and Solar Energy infrastructure, California, USA, 2009).

- **CAETS** comparte que el **potencial de las energías renovables excede** las **necesidades energéticas globales** pero, estima su contribución efectiva en el año 2050 entre 25% y 40% de la demanda total (restricciones tecnológicas y económico – financieras).
- También **señala que, para combatir el CC** y satisfacer la demanda energética creciente, se requiere:
  - **Definir mezclas de fuentes que permitan lograrlo** (Renovables, E. Nuclear, Fósiles con menos C).
  - **Mejorar la eficiencia.**
  - **Emplear CAC, cuando esté comercialmente disponible.**

# LA CAC COMO MECANISMO DE MITIGACIÓN DEL CC:

## *Algunas Reflexiones*, (Cont.)

- La tecnología **CAC reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> (>90%), pero requiere mayor consumo energético** que las plantas convencionales similares sin ella, determinando mayores **impactos negativos asociados** (por ej. en la minería, transporte y procesamiento de C), paralelamente, su empleo implica mayores costos de inversión de operación y de mantenimiento.
- **CAC, es una opción** para **iniciar** la etapa de **energía de bajo C** en la fase de transición del empleo de combustibles fósiles a nuevas fuentes de energía, pero:
  - i. Aun **no está comercialmente madura**
  - ii. Su **mayor dificultad radica en el almacenamiento de CO<sub>2</sub>** fuera del contacto de la atmósfera. En este sentido, **los yacimientos petrolíferos y gasíferos agotados** otorgan **mayores garantías relativas de estanqueidad**.
  - iii. **Hay pocos estímulos en aplicarlo a la generación de energía eléctrica**, por sus consecuencias en el mercado competitivo entre sus fuentes.
  - iv. Existen **barreras políticas y técnicas**.
- Aparentemente, a **nivel internacional**, las **nuevas centrales termoeléctricas a C** incluyen el concepto de «**planta pronta para Capturar CO<sub>2</sub>**»; **simultáneamente**, en muchos países se **verifica una creciente oposición** a la **implementación de centrales eléctricas a C**.
- La **reciente obtención de GN a partir de yacimientos de lutitas gasíferas**, ha mejorado su oferta mundial respecto al C constituyéndose en una **opción atractiva como fuente de energía fósil** con respecto a aquél

# LA CAC COMO MECANISMO DE MITIGACIÓN DEL CC:

## *Algunas Reflexiones*, (Cont.)

### EN ESTE COMPLEJO MARCO GLOBAL, CONSIDERAMOS:

- i. *Que, para combatir el CC, se dispone* de pluralidad de herramientas aplicables
- ii. Que deben adoptarse aquéllas, “*sin arrepentimiento*” que sean las más adecuadas, “*seleccionándolas a la medida*” de *cada caso particular* mediante la formulación de una *matriz de priorización* diseñada *aplicando criterios éticos y de desarrollo sostenible*.
- iii. *Que la percepción social tendrá un papel creciente respecto a la toma de decisiones nacionales al respecto.*
- iv. Que la *difusión de la CAC* es fuertemente dependiente de los *acuerdos internacionales* que se adopten en el marco de la CMNUCC con respecto a la mitigación de emisiones de GEI y al prelio del CO<sub>2</sub> emitido no evitado.

# BIBLIOGRAFÍA

- The Thermodynamic Properties of Gases: Carbon Dioxide. R.L. Sweigert, R. Weber & R.L. Allen, Ind and Eng. Chemistry, Feb 1946, pags. 185 y sigs.
- The Transport Properties of Carbon Dioxide. J. Kennedy & G. Thodos, American Inst fo Chem. Engs Journal, Vol 7, N° 4, December 1961.
- Ventilacao Industrial et Controle da Poluicao. Archibald Macintyre, 1988, Editora Guanabara, Brasil.
- CO<sub>2</sub> Technology, N. Basta, G. Ondrey & S. Moore, Chem. Eng. Aug. 1992.
- Exploration Perspectives and Hydrocarbon Potential of the Uruguayan Sedimentary Basins, Dr. H. de Santa Ana e Ing. N. Ucha, ANCAP, 1994
- Physical Properties of Carbon Dioxide, The Distillers Co (Carbon Dioxide) Ltd.
- Carbon Capture in Petronas Fertilizer Co. Kansai Electric Power & Mitsubishi Heavy Industries, 2000.
- Depósitos del Jurásico y Cretácico Temprano de la Región Meridional del Uruguay. G. Veroslavsky, H. de Santa Ana y E. Rossello Cap VI tomado de Cuencas Sedimentarias de Uruguay, Facultad de Ciencias, UdelaR, 2004.
- La Captación y el Almacenamiento de Dióxido de Carbono. Resumen para Responsables de Políticas y Resumen Técnico. OMM, PNUMA, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el CC, PICC, 2005. B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M Loos y L. Meyer.
- Cap. 5 Transporte, Inyección y Almacenamiento Geológico de Dióxido de Carbono, Directrices PICC para los inventarios nacionales de GEI, S Holloway, A. Karimjee, M. Akai, R. Ripatti y K. Rypdal. 2006.
- Lighting the way toward a Sustainable Energy Future, Inter. Academy Council, IAC Secretariat, Amsterdam, Holanda, Oct. 2007.

# BIBLIOGRAFÍA, (Cont.)

- Introducción al CC y al MDL. Material de Apoyo del Curso Validadores de Proyectos MDL, UNIT - AENOR, 2007. Raúl R. Prando.
- Chapter 18 Carbon Capture and Storage, for Greenhouse Effect Mitigation, redactado por D. Tondeur & F. Teng. Tomado de Future Energy. Improved Sustainable and Clean Options for our Planet. Edited by Trevor M. Letcher, Elsevier, 1st. Edition, 2008.
- CCS with Alstom's Chilled Ammonia Process at AEP's Mountaineer Plant. Paper 167. B. Sherrick, M. Hammond, G. Spitznogle, D. Murraskin, S. Black & M. Cage, 2008.
- Alstom's CCS Demonstration Projects, Oct. 2008.
- La Captura del CO<sub>2</sub>. La Opción Posterior a la Combustión. Unión Fenosa, J. Chamberlain, Julio 2008
- Taller Recursos Minerales Energéticos del Uruguay, Resúmenes de los trabajos presentados. Exploración y Producción, ANCAP, Set 2009.
- Storage of CO<sub>2</sub>, a Vexing Question, M. Lind, Sweden, Science News, Sept 2009.
- Implications of the inclusion of geological CO<sub>2</sub> Capture and Storage in as CDM Project activity, Final Report. Annex 4, Agenda EB 49, CDM EB, UNFCCC, 2009
- Control de Contaminantes Tradicionales y Avances en la Captura de CO<sub>2</sub> en Centrales Eléctricas de Generación a Carbón. Expoambiental, Pablo Astudillo, Alstom Chile, Oct 2009.
- Key World Energy Statistics 2009, IEA, [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Calera-Betchel Strategic Alliance, Los Gatos, CA, USA, 2009.
- Captura y Valoración de Dióxido de Carbono, Proyecto Curricular de Grado, Carrera Ingeniería Qca., A. Bernardo, M. Guigou y C. Marin, Facultad de Ingeniería, UdelaR, 2008-2009.
- Desarrollo Humano Integral en la Caridad y en la Verdad, Caritas in Veritas, Benedicto XVI, 2009.

# BIBLIOGRAFÍA, (Cont.)

- Evaluating the feasibility of a large scale Wind, Water and Solar Energy Infraestructure, M.Z. Jacobson & M. Delucchi, California, USA, 2009.
- Prosperity without growth: Economics for a future planet, T. Jackson, UK, 3009.
- The Economics and Politics of Climate Change, D Helm, UK, 2009.
- Towards a Sustainable Energy Future, R. Evans, CAETS, Alberta, Canada, 2009.
- Outlook for Energy. A view to 2030, ExxomMobil, 2009.
- Alstom's CCS Status & Projects Around the World, P. Paelinck, CFFS Forum, Abu Dhabi, Jan 2010.
- Petrobras, Fertilizantes, Planta Campana, Pcia. Buenos Aires, Argentina, Comunicación Personal Ing. F Ruiz, 2010.
- Intl. Energy Outlook 2010, US Energy Information Administration.
- Cost Analysis of Carbon Capture and Storage for Ladrobe Valley, Ch. Kostad & D. Young, University of California, Santa Barbara, CA, USA 2010.
- Deployment of Low Emissions Technologies for Electric Power Generation in Response to Climate Change, Working Group Report, CAETS, Set. 2010.
- Dr. H. De Santa Ana, e Ing. P. Gristo, Gcia. Exploración y Explotación, ANCAP, Comunicación Personal, 2010.
- Dr. Geología G. Veroslavzky, Fac. de Ciencias, UdelaR, Comunicación Personal, 2010.
- Ing. M. Kasprzyk, Unidad Cambio Climático, MVOTMA, Comunicación Personal, 2011
- [www.power.alstom.com](http://www.power.alstom.com)
- [www.power.alstom.com](http://www.power.alstom.com)
- [www.co2now.org](http://www.co2now.org)