

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

La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (CAC o CCS en inglés) constituyen un proceso consistente en la separación del CO<sub>2</sub> procedente de los gases emitidos por la industria y fuentes relacionadas con la energía, su transporte a un lugar de almacenamiento y su aislamiento de la atmósfera a largo plazo. Por el contrario, la captación y uso del dióxido de carbono (CAU o CCU en inglés) implica su utilización en lugar de su almacenamiento.

La idea de capturar CO<sub>2</sub> de las emisiones de plantas energéticas, al contrario de lo que se podría pensar, no surgió como medida ambiental para evitar el efecto invernadero, sino como una posible fuente de CO<sub>2</sub> para ser utilizado en las operaciones de “extracción mejorada de petróleo” (EOR). Dicha técnica consiste en inyectar CO<sub>2</sub> presurizado en los yacimientos petrolíferos del subsuelo para aumentar la cantidad de petróleo extraído.

El despliegue de las plantas de captación de CO<sub>2</sub> comenzó a finales de la década de los 70 y principios de los 80 en Estados Unidos. Aunque Carburos Metálicos llevaba ya más de 60 años recuperando CO<sub>2</sub> (del gas residual producido en la producción de electricidad y vapor, el negocio principal de Coromina Industrial, que se vendía para el mercado de la carbonatación de bebidas)

Más adelante se construyeron más plantas de captación de CO<sub>2</sub> para su posterior venta a otras industrias en mercados comerciales

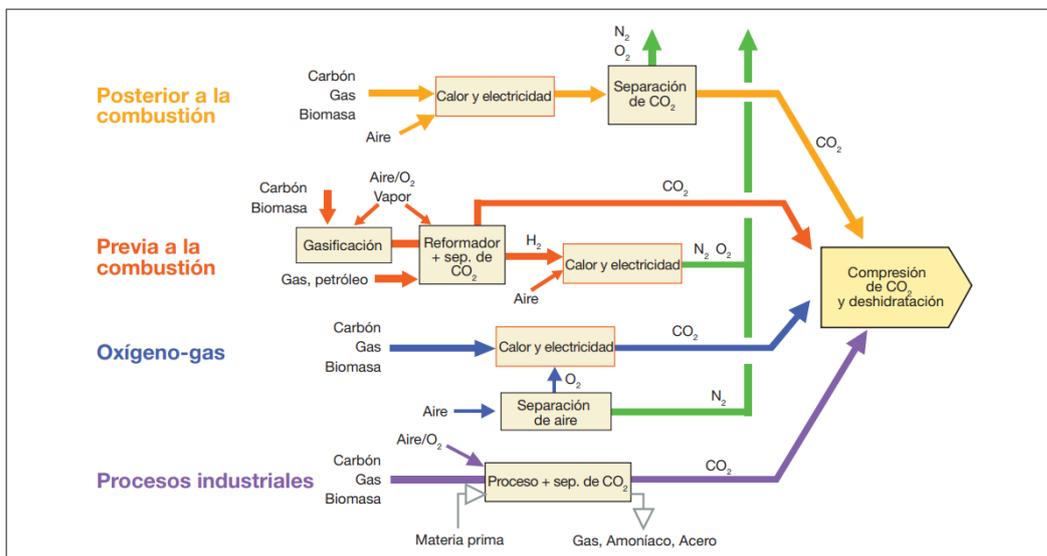


Ilustración 1. Captura de CO<sub>2</sub>. Fuente: publicación de la Plataforma Tecnológica del CO<sub>2</sub>: “Captura de CO<sub>2</sub>: tecnologías para una captación a gran escala

Los sistemas de captura de CO<sub>2</sub> se clasifican en función del punto del proceso donde tiene lugar la captura del gas. Cualquier planificación tecnológica supone un incremento en el consumo energético del proceso, dada las necesidades energéticas requeridas para la separación del CO<sub>2</sub>. A continuación, se muestran de forma esquemática las distintas opciones: precombustión, post-combustión y oxidación.

### CAPTURA POST-COMBUSTIÓN

Las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> en post-combustión se basan en separar el CO<sub>2</sub> de la corriente de gases a la salida del proceso de combustión convencional del combustible fósil o renovable (biomasa), empleando aire como comburente. Estas tecnologías se ubican aguas abajo del proceso y funcionan mediante la instalación de un equipo de depuración de gases para un componente en concreto, en este caso, el CO<sub>2</sub>.

La mayoría de los procesos industriales que requieren el empleo de combustión utilizan aire como comburente, por lo tanto, esta tecnología puede aplicarse directamente como *retrofitting* sin provocar alteraciones en el propio proceso, ofreciendo una gran flexibilidad y capacidad de adaptación a las condiciones operativas de la instalación.

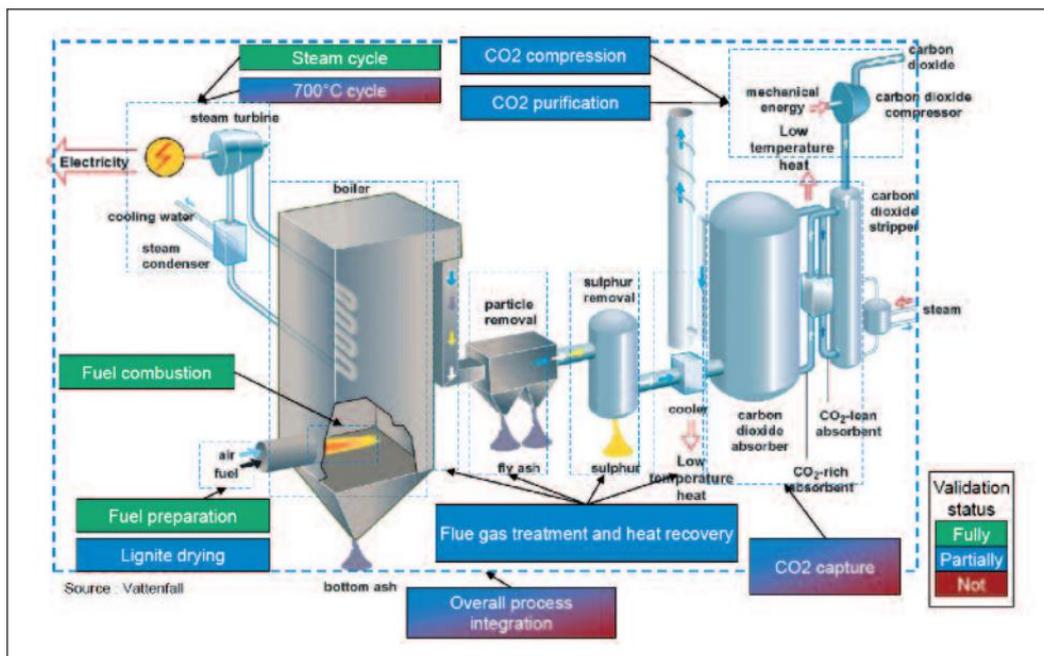
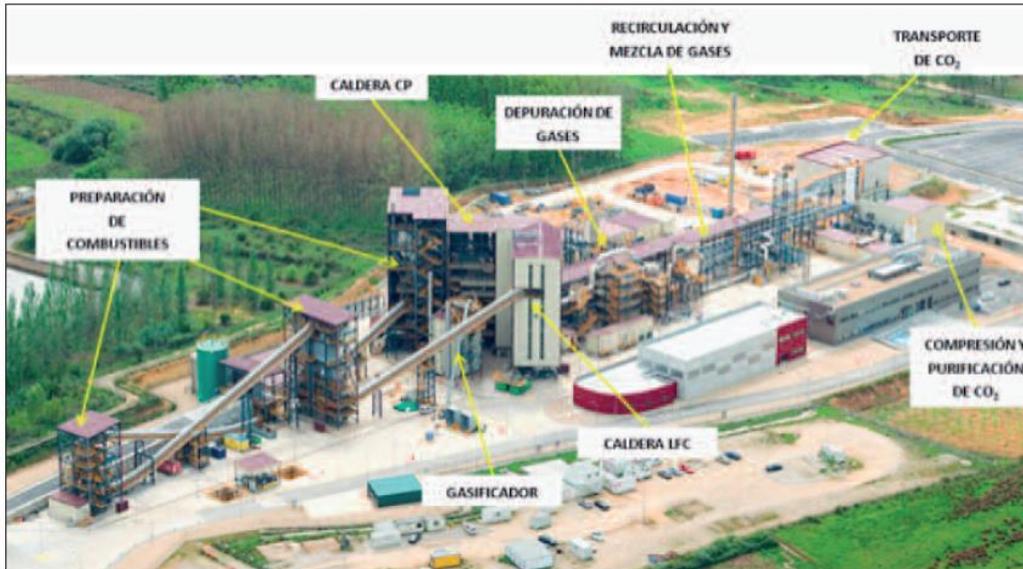


Ilustración 2. Sistema de captura de CO<sub>2</sub> (post-combustión) en una central térmica de combustión de carbón pulverizado mediante absorción del CO<sub>2</sub> por vía húmeda (cortesía ETP-ZEP).

Fuente: publicación de la Plataforma Tecnológica del CO<sub>2</sub>: "Captura de CO<sub>2</sub>: tecnologías para una captación a gran escala"



Fuente: CIUDEN.

*Ilustración 3. Imagen aérea del Centro de Desarrollo de Tecnologías de Captura de CO<sub>2</sub> de la Fundación Ciudad de la Energía, situado en Cubillos del Sil (León). La Caldera CP fue suministrada por Gestamp Biomass Solutions. Fuente: publicación de la Plataforma Tecnológica del CO<sub>2</sub>: "Captura de CO<sub>2</sub>: tecnologías para una captación a gran escala"*

La concentración de CO<sub>2</sub> en los gases de salida de un proceso de combustión con aire se encuentra en el rango del 12-14% en el carbón y la biomasa y del 3-5% en un ciclo combinado (con turbina de gas). Los principales inconvenientes para la aplicación de esta tecnología radican en el elevado caudal de gases a tratar y la baja concentración de CO<sub>2</sub> de dicha corriente, siendo la presión parcial y, en definitiva, la fuerza impulsora para producir la separación de CO<sub>2</sub>, muy bajas. Además, los sorbentes usados industrialmente para capturar el CO<sub>2</sub> requieren una gran cantidad de energía para la desorción y regeneración del CO<sub>2</sub> capturado. Todo ello se traduce en unos costes de instalación y de operación muy elevados, teniendo en cuenta la tecnología actualmente disponible.

Los métodos de captura/separación de CO<sub>2</sub> en post-combustión se clasifican en cinco grupos principales:

- Absorción: Química o Física
- Adsorción
- Criogenia
- Membranas
- Procesos biológicos

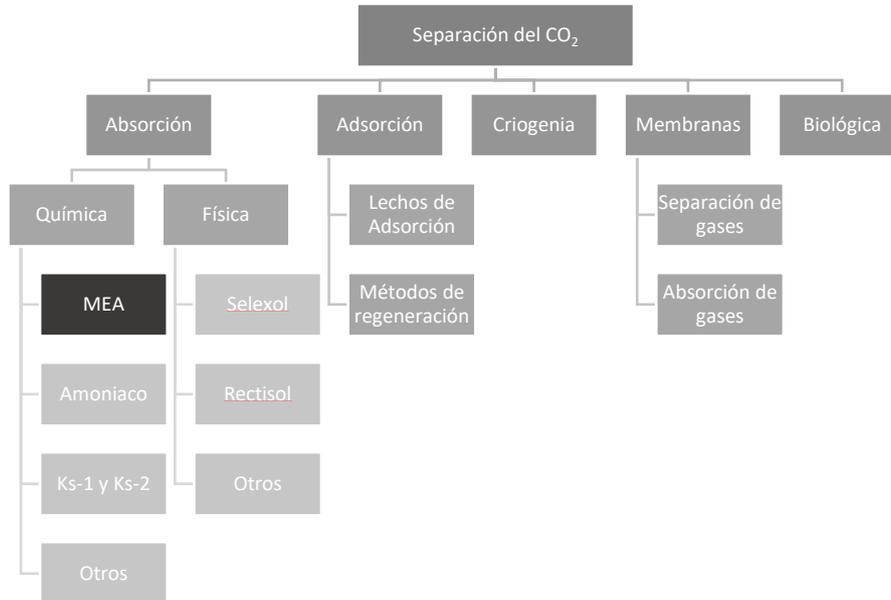


Ilustración 4. Métodos de captura/separación de CO<sub>2</sub> en post-combustión. Clasificación. Fuente: elaboración propia.

### Absorción química:

Nos detendremos solo en el proceso que se aplica en el Proyecto LIFE CO<sub>2</sub> INT BIO: La Absorción química.

Los procesos de absorción química son los métodos más ampliamente utilizados en la industria para separar el CO<sub>2</sub> de una corriente de gases. La absorción de CO<sub>2</sub> se basa en la retención selectiva de este compuesto al entrar en contacto los gases de combustión con un líquido absorbente mediante fenómenos químicos y/o físicos.

Existen muchos procesos basados en la absorción, aunque los que se consideran completamente desarrollados son la absorción con aminas (derivados del amoníaco que sustituyen alguno de los hidrógenos de la molécula por otro radical) y con amoníaco enfriado. Se trata de una tecnología madura en el campo de la purificación de gas natural y en la producción de CO<sub>2</sub> para uso comercial. Existen plantas capaces de obtener hasta 8.000 t/día de CO<sub>2</sub> (equivalente a la producción de CO<sub>2</sub> de una planta de 400 MWe) a partir de una corriente de gases, con capacidades de captura de hasta el 90% del CO<sub>2</sub> de la corriente y con purzas del 99%.

La absorción química con aminas emplea solventes de carácter alcalino que presentan al menos un grupo amino y un hidroxilo, siendo los compuestos más ampliamente utilizados monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA), trietanolamina (TEA) y metildietanolamina (MDEA).

En el caso de las aminas con impedimento estérico, presentan una alta selectividad, mayor capacidad de carga de CO<sub>2</sub> por kg de solvente y producen una corriente de elevada pureza de CO<sub>2</sub>, pero su coste es muy elevado. Típicamente se emplean soluciones acuosas de MEA al 30% para evitar problemas de precipitación. Existen numerosos procesos

comercializados en la actualidad que utilizan solventes optimizados a partir de compuestos amínicos.

Las aminas reaccionan de forma rápida, selectiva y reversible con el CO<sub>2</sub>. Son poco volátiles, baratas y seguras en su manejo. Sin embargo, debido a su alta corrosividad, se requiere el empleo de materiales resistentes a la corrosión. Además, se degradan formando sales estables en presencia de O<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> y otro tipo de impurezas (tales como partículas, HCl, HF, Hg y compuestos orgánicos o trazas de inorgánicos).

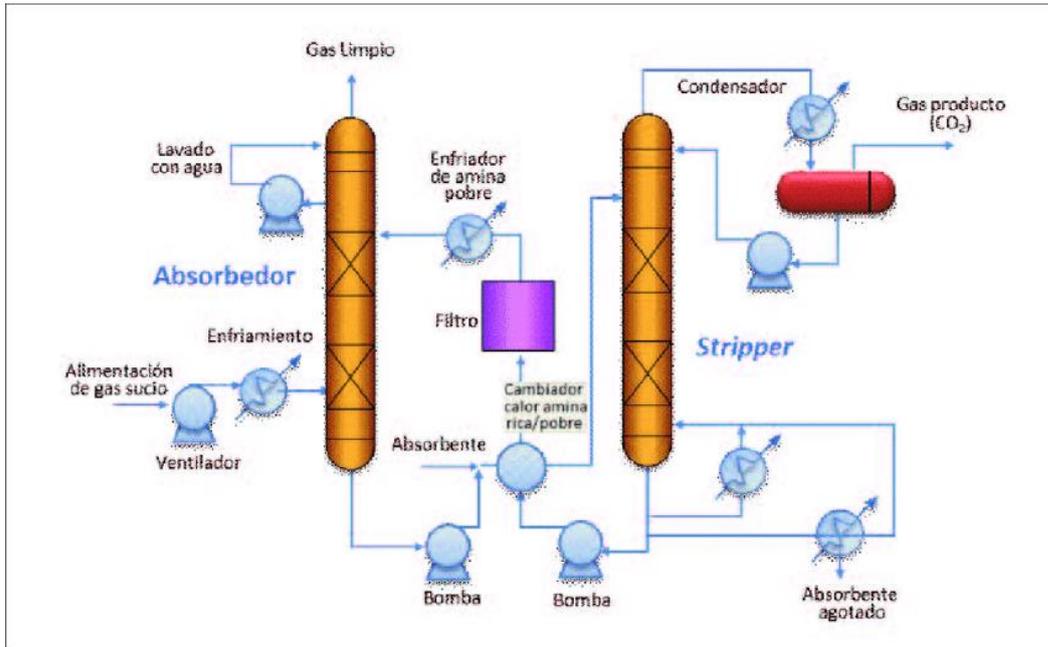


Ilustración 5. Proceso general de absorción química. Fuente IPCC 2005

El gas a tratar entra en la primera columna (columna de absorción), desde allí, el CO<sub>2</sub> es transferido a una solución introducida en contracorriente que contiene el solvente en disolución, formando un enlace químico entre ambos.

Posteriormente, tras pasar por una etapa de calentamiento, la solución rica en CO<sub>2</sub> es conducida hacia la columna de desorción (*Stripper*). Allí, ante las nuevas condiciones de temperatura, del orden de 100-120°C, se libera el CO<sub>2</sub> junto con una fracción de vapor de agua procedente de la corriente de líquido.

La corriente de CO<sub>2</sub> y vapor de agua es sometida a una operación de condensación en la que se elimina este último, resultando una corriente final altamente concentrada en CO<sub>2</sub> (por encima del 99%), disponible para poder ser comprimida hasta las condiciones de almacenamiento. El absorbente regenerado (agotado) se enfría hasta 40-65°C y es enviado de nuevo a la columna de absorción para completar el ciclo, previo filtrado para la eliminación de impurezas.

Aunque existen procesos comercialmente disponibles en el mercado para aplicar esta tecnología en grandes centrales, la integración de los gases de combustión procedentes del tren de limpieza implica ciertas dificultades a tener en cuenta. Las principales son:

- Los gases a tratar se encuentran a temperaturas superiores a los 100°C por lo que es necesario enfriarlos hasta las temperaturas de trabajo óptimas para la absorción. Esto supone la necesidad de incorporar un nuevo equipo de intercambio de calor.
- La presencia en los gases de combustión de partículas, SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> degradan las aminas, por lo que las exigencias en cuanto a los niveles de concentración son muy estrictos e implican un mayor rendimiento en los equipos de depuración de gases aguas arriba de la absorción y, por lo tanto, un aumento en los consumos y costes operacionales. Estos niveles se estiman en valores inferiores a 10 ppm para SO<sub>x</sub>, 20 ppm para NO<sub>x</sub> y 10 mg/m<sup>3</sup> para partículas.
- Corrosión de materiales en presencia de O<sub>2</sub> y otras impurezas. Necesidad de emplear inhibidores para disminuir la incidencia de este fenómeno.
- La demanda energética es muy elevada en la regeneración del solvente.
- Se estima que la reducción asociada al proceso de absorción – desorción es de un 10% de la potencia de la instalación.
- En aquellos casos en donde se disponga de un turbo grupo (a condensación o a contrapresión) para suministrar el calor del proceso, puede requerirse la modificación de parte la turbina de vapor para suministrar la energía consumida en la regeneración.

Exhaustivas investigaciones buscan mejorar y encontrar nuevos absorbentes que aumenten la capacidad de captura de CO<sub>2</sub>, la selectividad, la resistencia a la corrosión y a la degradación, las velocidades de absorción y, sobre todo, menores requerimientos energéticos para su regeneración.

Como alternativas más prometedoras se encuentran los procesos que emplean amoníaco, el cual dispone de una capacidad de captura de casi el doble con una disminución de casi el 75% de la energía para la regeneración.

Además, se están estudiando soluciones de carbonatos potásicos, empleados en otros procesos.

Finalmente, se están desarrollando los denominados líquidos iónicos: sales orgánicas con puntos de fusión próximos a la temperatura ambiente. Estos compuestos no son inflamables y presentan como principales ventajas una alta solubilidad de CO<sub>2</sub>, velocidades de absorción y desorción mayores que en el caso de los compuestos orgánicos, presiones de vapor extremadamente bajas, alta estabilidad térmica. Su elevada energía de regeneración y su alta viscosidad limitan su aplicabilidad en la actualidad.

El resto de tecnologías no tiene una implantación tan extensa.

## CAPTURA PRE-COMBUSTIÓN

En los procesos de captura de CO<sub>2</sub> previos a la combustión, el combustible reacciona con aire o vapor de agua de modo que se obtiene una corriente de gas cuyos principales componentes son CO e hidrógeno. Posteriormente, se hace pasar el gas por un reactor catalítico, denominado *shift-CO*, donde el CO reacciona con vapor de agua para obtener CO<sub>2</sub> e hidrógeno. El gas obtenido al final del proceso, denominado gas de síntesis, está compuesto principalmente de CO<sub>2</sub> e hidrógeno, que pueden ser separados de forma relativamente sencilla.

Tecnologías existentes

- a) Reformado con vapor de gas natural o hidrocarburos ligeros (SMR)
- b) Oxidación parcial de gas natural e hidrocarburos ligeros (POX)
- c) Reformado autotérmico de gas e hidrocarburos ligeros (ATR)
- d) Gasificación de carbón, biomasa, residuos de petróleo y otros residuos

Tecnologías emergentes:

Se citan a continuación las diversas tecnologías que se están planteando como alternativas a las comercialmente existentes. En general, se encuentran en fase de ensayos de laboratorio o en plantas de demostración de escala de laboratorio

- a) Reacción de adsorción mejorada (SER)
- b) Reactores de membrana para producción de hidrógeno con captura de CO<sub>2</sub>
- c) Reformado en microcanales
- d) Tecnologías basadas en óxidos de calcio
- e) Gasificación o reformado por “*chemical looping*”
- f) Pilas de combustible

## CAPTURA OXICOMBUSTIÓN

La tecnología de oxidación es la que actualmente tiene una menor implantación. Se basa en el uso de oxígeno de elevada pureza en lugar de aire como comburente en los procesos de combustión en calderas o en turbinas de gas.

Al quemar con oxígeno puro, las temperaturas de llama se incrementan excesivamente, por lo que se hace imprescindible recircular parte de la corriente de gases generada para atemperar la temperatura y facilitar la transferencia de calor en la zona de combustión y proteger los materiales que la conforman.

La oxidación básicamente sustituye el nitrógeno existente en el aire, inerte en la combustión, por CO<sub>2</sub>, que realiza las mismas funciones de regulador de la temperatura. En este caso, la separación de CO<sub>2</sub> generado no se realiza sobre el propio compuesto, sino que se aplica al oxígeno previo a la combustión.

La principal ventaja de operar en estas condiciones radica en la posibilidad de obtener una corriente de gases compuesta principalmente por CO<sub>2</sub> (90-95%), H<sub>2</sub>O, trazas de gases nobles, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y cenizas. Una simple condensación permitiría disponer de una corriente final de CO<sub>2</sub> al 99% de composición.

Para profundizar en este tema: [Captura de CO<sub>2</sub>: tecnologías para una captación a gran escala de la Plataforma Tecnológica del CO<sub>2</sub>](#)

[Publicaciones de la Plataforma Tecnológica Española del CO<sub>2</sub>](#)