

Combustión de carbón

S. Jiménez

Científico Titular del CSIC. Laboratorio de investigación
en tecnologías de la combustión, LITEC (CSIC-UZ). yago@litec.csic.es

Alrededor del 40% de la energía eléctrica mundial se genera en plantas de combustión de carbón (algo menos del 20% en España), lo que da idea de la importancia presente y futura de esta fuente de energía. Al mismo tiempo, existe un creciente interés en reducir su impacto medioambiental, sobre todo en lo concerniente a las emisiones de CO₂ a la atmósfera (otros contaminantes, como NO_x y SO_x, origen de la «lluvia ácida», recibieron más atención en el pasado, y menos ahora al incorporar las plantas tecnologías que permiten cumplir con las normativas actuales en la materia). Otra motivación para profundizar en el estudio de la combustión de carbón, tras más de un siglo de uso intensivo, es la globalización de los mercados y, en el caso europeo y español, la reciente introducción de carbones de importación, de mayor calidad (y menor precio), como sustitutos de los casi agotados yacimientos locales. En este texto se pretende dar una visión general del estado del arte en combustión de carbón, así como de las nuevas técnicas en desarrollo y líneas de investigación en marcha.

Aunque en general nos referimos al carbón como un solo material, en realidad hay muchos tipos de carbones bastante distintos entre sí, tanto por sus propiedades más básicas (por ejemplo: poder calorífico, humedad, cenizas, volátiles) como por su reactividad (de menor a mayor, como regla general: antracita, hulla, lignito, etc.).

Existen distintas tecnologías para el aprovechamiento de gran poder calorífico del carbón. Entre las más importantes se cuentan:

– **Combustión de carbón pulverizado.** La mayor parte de las plantas de producción de energía eléctrica se basan en esta técnica. El carbón se muele hasta tamaños menores a ~100 µm (menores que el grosor de un pelo), y se introduce en la caldera acompañado por el aire que lo quemará; este mismo aire lo arrastra hacia la salida, donde se sitúan los intercambiadores de calor, primero, y los sistemas de limpieza de gases, después; la figura 1 representa un esquema de una caldera típica, y el recorrido de los gases. El diseño de las calderas depende del tipo de carbón a quemar, y no son en general intercambiables. Se trata de instalaciones muy grandes (el hogar de las mayores alcanza los 80 m de altura interior), con paradas muy espaciadas en el tiempo (del orden de dos años) y eficiencias globales relativamente altas (~35% de la potencia térmica introducida se convierte en electricidad, aunque los últimos diseños, con circuitos de vapor a muy alta temperatura y presión, alcanzan hasta un 45%).

Texto publicado en la página web www.energia2012



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



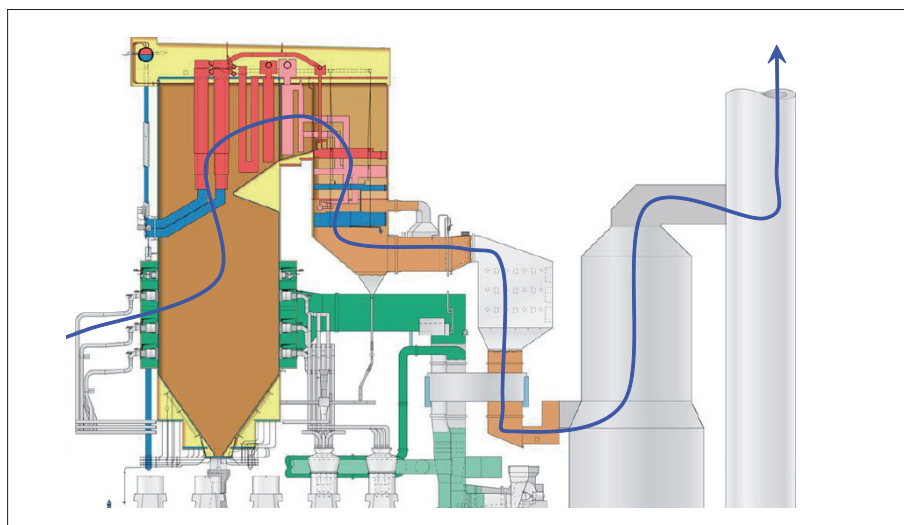
CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA

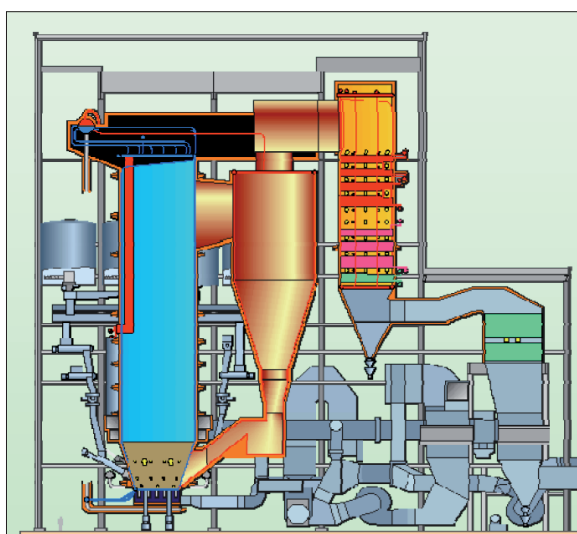


Figura 1.
 Esquema de una central
 de carbón pulverizado.
 La línea azul representa
 el flujo de aire desde la
 inyección a la emisión.



- **Combustión en lecho fluido o fluidizado.** Se introdujeron como un medio de disminución de emisiones contaminantes, sobre todo SO_x y NO_x . El carbón, molido en tamaños milimétricos (o sea, mucho mayores que en pulverizado), se mantiene en suspensión con ayuda de un lecho de arena. Las temperaturas alcanzadas son bastante menores que en las calderas anteriores ($800\text{-}1.000^\circ\text{C}$ frente a $1.300\text{-}1.500^\circ\text{C}$), y también la eficiencia energética es en general menor. Buena parte de la limpieza de gases se lleva a cabo en el propio lecho. La figura 2 es un ejemplo de una central de lecho fluido circulante, en la que las partículas de carbón son en parte arrastradas por el aire de combustión y retenidas, hasta que están quemadas por completo, por un ciclón que las devuelve al hogar principal.

Figura 2.
 Esquema de
 una planta de lecho
 fluido.



Texto publicado en la página web www.energia2012

- **Gasificación.** En realidad, muy pocas plantas a nivel mundial producen energía eléctrica mediante la gasificación de carbón y posterior combustión (Elcogas, en Puertollano, es una de ellas), pero la tecnología es *per se* interesante: se trata de convertir la matriz carbonosa en gas combustible, para a partir de este gas generar energía (por ejemplo, en un ciclo combinado, de gran eficiencia) u otros productos (plásticos, etc.). La manera de hacerlo es introducir el carbón en una caldera a alta temperatura con un gran defecto de oxígeno y, en cambio, altas concentraciones de CO_2 y H_2O . A modo de ejemplo, la reacción de la matriz carbonosa con el primer gas es $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{CO}$, y el CO puede quemarse tal cual o bien «desplazarse» hacia CH_4 y H_2 con ayuda del vapor de agua.
- Existen nuevas tecnologías en desarrollo, básicamente destinadas a la captura y posterior almacenamiento de CO_2 :
 - En la oxicomustión se sustituye el N_2 (que supone ~80% del aire) por gases recirculados de la caldera, de modo que el carbón se quema en presencia de una mezcla casi pura de O_2 y CO_2 (véase figura 3). Tras limpiar los gases de partículas y otros contaminantes (e.g. SO_x), el flujo final resultante es casi CO_2 puro, que puede directamente comprimirse y conducirse hasta los lugares de almacenamiento geológico. En la actualidad, funcionan con esta tecnología algunas plantas piloto de media potencia, y se espera que en el futuro se implante de manera extensiva.

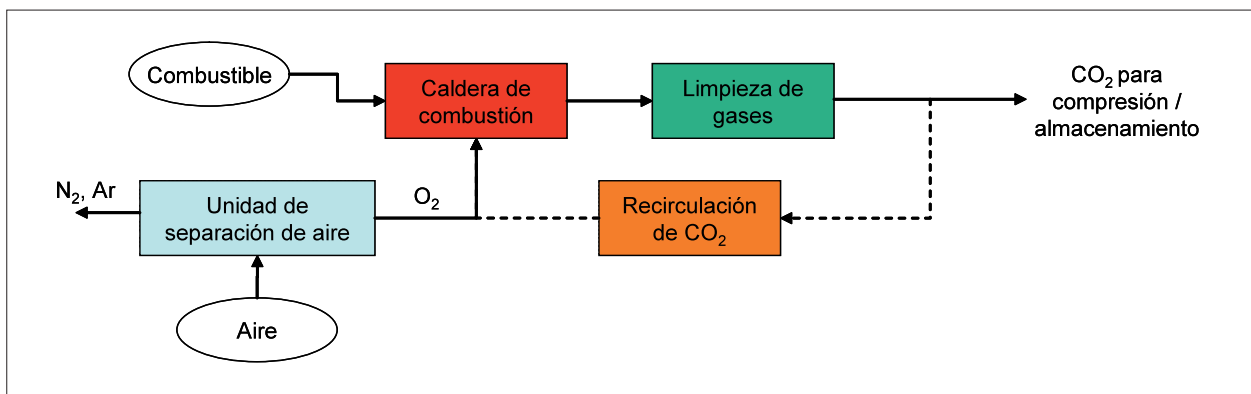


Figura 3. Funcionamiento básico de una planta de oxicomustión.

- *Chemical looping*, o bucle químico. Como muestra la figura 4 en la página siguiente, el aire y el combustible (aunque se suele trabajar con gas, en principio es extensible a sólidos como el carbón) no están en contacto, sino que el O_2 es transportado entre dos reactores paralelos por un agente químico, básicamente un metal que absorbe el O_2 en un sitio y lo libera en el otro. De nuevo, el resultado es una corriente de CO_2 casi puro.

Texto publicado en la página web www.energia2012

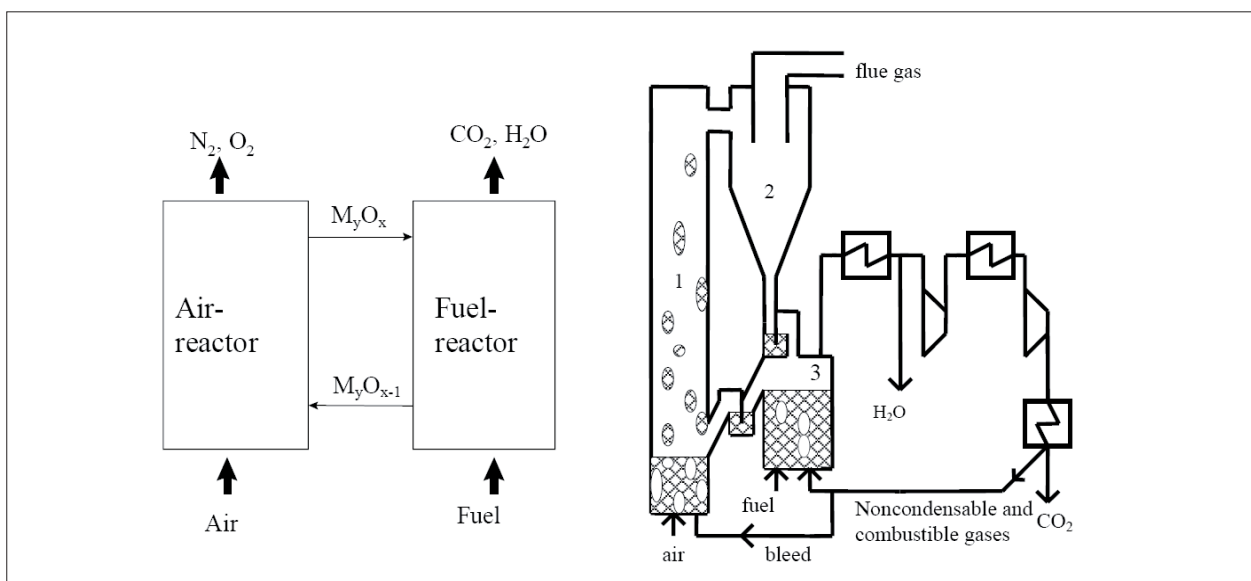
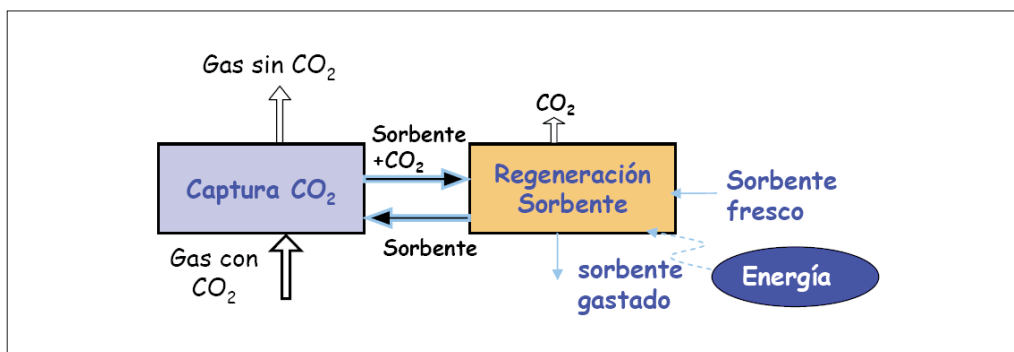


Figura 4. Esquema de funcionamiento de una planta de *chemical looping*.

- **Carbonatación-calcinación.** En realidad, es una técnica de captura de gases post-combustión: de manera análoga al *chemical looping*, en un reactor un agente captura el CO_2 (e.g. CaO que se carbonata a CaCO_3) y en otro lo libera como una corriente de CO_2 puro (figura 5).

Figura 5.
Esquema de funcionamiento de un módulo de carbonatación-calcinación para la captura de CO_2 procedente de la combustión de carbón.



El desarrollo de estas nuevas tecnologías de generación de energía «limpia» a partir del carbón, el interés público en reducir las emisiones contaminantes (expresado en regulaciones progresivamente más estrictas) y el industrial por optimizar el funcionamiento de las plantas tienen su correspondencia en múltiples líneas de investigación a cargo de numerosos grupos nacionales y extranjeros. En los párrafos que siguen se ilustran algunas de ellas con resultados obtenidos en las instalaciones del LITEC:

Texto publicado en la página web www.energia2012

- A medida que se han incorporado nuevos carbones a plantas ya en funcionamiento, pero diseñadas para combustibles locales, ha sido necesario caracterizar su «reactividad»; es decir, el ritmo al que se consumen en distintas condiciones de oxígeno y temperatura (un buen ejemplo de este tipo de sustituciones es la central de As Pontes, en Galicia, situada al lado de una mina de lignito recientemente agotada: actualmente quema combustibles de Indonesia, EEUU y otros orígenes). La caracterización se lleva a cabo mediante ensayos con partículas dentro de un rango estrecho de tamaños en un reactor de flujo laminar; el ajuste de las curvas de inquemados vs. tiempo a modelos relativamente simples permite proporcionar a los diseñadores u operadores de caldera los parámetros cinéticos que sus códigos de simulación necesitan como datos de entrada. La figura 7, más adelante, incluye unas curvas similares a las obtenidas para reacción con O_2 . La figura 6 ilustra la evolución típica de las partículas de carbón (aquí, antracita) con el grado de quemado, desde el original hasta la ceniza final.

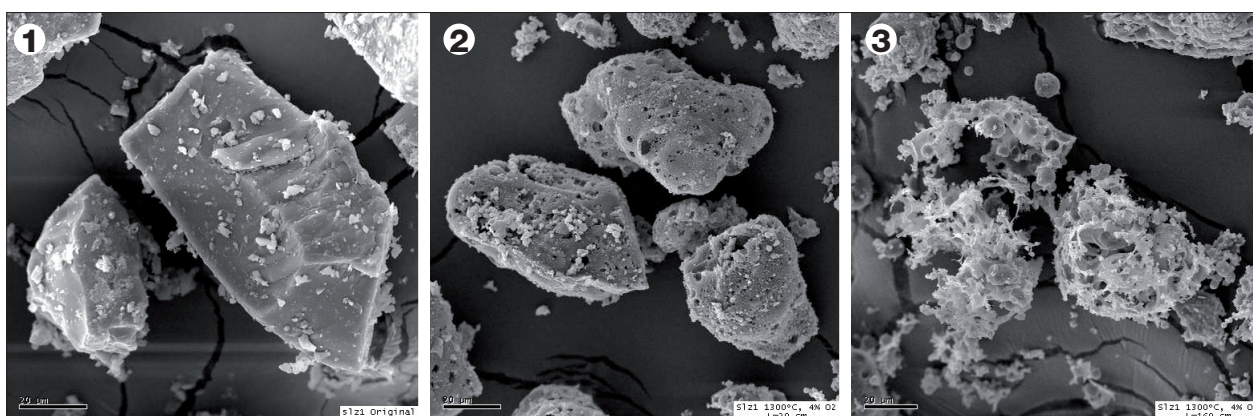


Figura 6. Evolución de partículas de carbón pulverizado con el grado de combustión: original (1), oxidación ligera (2) y cenizas (3). Imágenes de un microscopio electrónico de barrido (SEM).

- La tasa de gasificación del carbón por el CO_2 no ha recibido gran atención en el pasado, ante la evidencia experimental de que los ritmos de reacción eran considerablemente menores que los equivalentes para oxígeno. Esta percepción parece estar cambiando, tanto por el desarrollo de gasificadores a gran escala como por la introducción de la oxicomcombustión como alternativa realista a la combustión convencional. En los dos casos la concentración de CO_2 en los gases es muy alta, y la temperatura también es notable. La figura 7 muestra los resultados de un estudio reciente de un carbón subbituminoso sobre su tasa de reacción en concentraciones de CO_2 y temperaturas variables; en condiciones de oxicomcombustión, y para carbones reactivos como éste, se ha encontrado que la gasificación puede llegar a suponer hasta un 20% del ritmo global de reacción (incluso en presencia de modestas concentraciones de oxígeno).

Texto publicado en la página web www.energia2012



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA



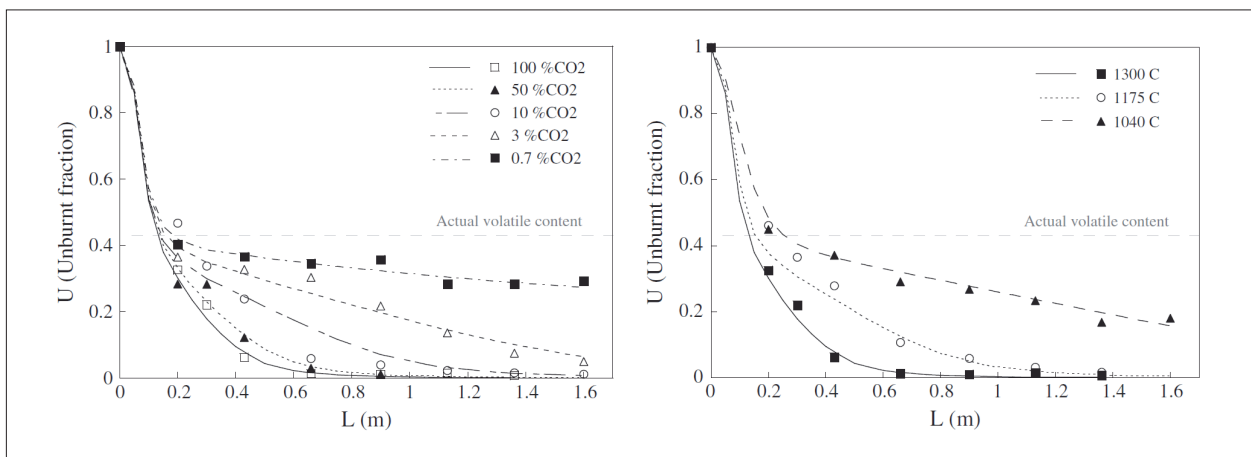
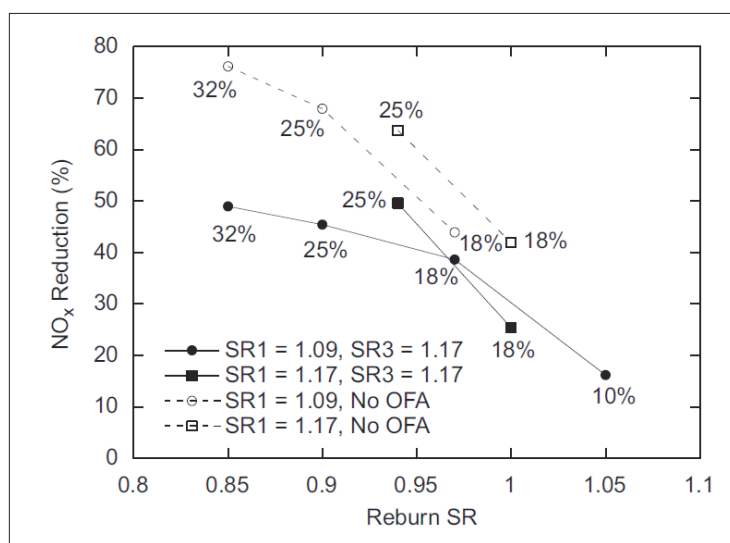


Figura 7. Evolución de la fracción inquemada con la distancia entre inyección y recogida de partículas (~tiempo de residencia), para distintas concentraciones de CO_2 y temperatura fija (1.300°C, izquierda) y distintas temperaturas y concentración de CO_2 fija (100%).

- La figura 8 pretende ilustrar estudios, todavía activos, dirigidos a la reducción de emisiones contaminantes. En particular, se quiere reducir la cantidad de NO_x emitidos, de interés dado que son responsables de un tipo de lluvia ácida. Existen dos opciones generales: capturar antes de la emisión (catalizadores), o bien generar menos en la propia caldera (quemadores de bajo NO_x , reburning). Esta última técnica consiste en crear en la caldera una zona reductora en la que los NO_x se reducen a N_2 . Suele crearse mediante la inyección de otro combustible y de un aire terciario que permite quemarlo más adelante. En los ensayos de la figura 8 (con reducciones de hasta un 80% en los NO_x emitidos) se utilizó biomasa como combustible de reburning, lo que de por sí es interesante.

Figura 8.
Porcentajes de NO_x eliminado mediante reburning con biomasa en combustión de carbón pulverizado. Ensayos en el combustor semiindustrial del LITEC.



Texto publicado en la página web www.energia2012

- Finalmente, y a modo de inventario, se trabaja también en aspectos como la minimización de problemas operativos asociados a la materia mineral del carbón (corrosión y ensuciamiento, que suele ser el motivo último de las paradas programadas de las calderas), el estudio de los metales pesados (y en particular, el mercurio) presentes en los combustibles, o problemas más «científicos» como la modelización de la química de la capa gaseosa alrededor de las partículas en combustión.

Texto publicado en la página web **www.energia2012**



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA



2012 AÑO INTERNACIONAL DE LA
ENERGÍA SOSTENIBLE
PARA TODOS