

## EL CARBÓN, ¿GARANTÍA DEL FUTURO ENERGÉTICO?

### *Coal, guarantee of energetic future?*

Carlos León Altamirano (\*)

#### **RESUMEN**

*El aumento de la demanda energética mundial, plantea serias incógnitas sobre las posibilidades de abastecimiento energético a medio y largo plazo. Las reservas limitadas de petróleo y gas natural, junto con la lenta implantación de las energías renovables, en gran medida por sus altos costes, permitiría prever como imprescindible el uso del carbón. Si bien su combustión ha sido una habitual fuente contaminante debido a las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno, de CO<sub>2</sub> y de cenizas volantes, la aplicación de las nuevas tecnologías a los procesos de combustión permitiría un uso económico y medioambientalmente sostenible.*

#### **ABSTRACT**

*The increase of the energetic demand outlines serious questions about the possibilities of energy supply. The limited oil and gas reserves, together with the slow rhythm in the installation of the renewable energy, due to mainly for their high costs, it would allow to foresee as indispensable the use of the coal in the short term. Although its combustion has been a habitual source of contamination related with the CO<sub>2</sub>, ashes, sulphur, nitrogen emissions, the application of the new technologies in the combustion processes, it would allow an economic and environmentally sustainable use.*

**Palabras clave:** demanda energética, carbón, CO<sub>2</sub>, sostenible

**Keywords:** energetic demand, coal, CO<sub>2</sub>, sustainable

#### **INTRODUCCIÓN**

El carbón es una roca sedimentaria originada por la acumulación de restos vegetales (troncos, hojas, cortezas, esporas, etc.) en zonas pantanosas, lacustres o marinas de poca profundidad. Los aportes sucesivos de materia vegetal y sedimentos, así como la subsidencia del terreno, configuran las condiciones ideales de presión y temperatura para su formación.

#### **¿Cómo se forma el carbón?**

El proceso geológico de formación de materiales con contenido creciente en carbono (turbas y carbones minerales) a partir de los materiales orgánicos depositados en los medios anteriormente citados se denomina carbonificación. Esta transformación gradual se produce a temperaturas moderadas (sobre 250 °C) y a alta presión, con una cinética mucho más lenta que la de la carbonización (eliminación de los volátiles de la materia orgánica por calentamiento en ausencia de aire). Esta transformación se realiza en dos etapas: la “diagénesis”, en la que tiene lugar la descomposición de la materia orgánica hasta formar la turba, y el “metamorfismo”, en el que se continúa la carbonificación por la acción del calor y la presión.

Durante la diagénesis se suceden procesos de descomposición de la materia orgánica debido al

ataque de las bacterias aeróbicas, que tiene lugar cuando los restos vegetales están cubiertos parcialmente por agua, o a poca profundidad, donde aún hay oxígeno para que puedan existir estas bacterias. En esta etapa, se produce una reducción de volumen de hasta un 50%. Una vez que las bacterias consumen todo el oxígeno, esta fase finaliza y comienza la descomposición de la materia orgánica restante por la acción de las bacterias anaeróbicas. En este momento, continúa la descomposición de la materia orgánica produciéndose ácidos húmicos que van acidificando el medio hasta llegar a un pH 4, que provoca la desaparición de las bacterias anaeróbicas. De esta forma se origina la turba y, sobre ella, se van depositando más restos vegetales que, a su vez, generan más turba, que hace que la temperatura de las capas inferiores vaya aumentando. Las transformaciones por metamorfismo comienzan cuando la temperatura alcanza los 100 °C. (Fig.1)

Con el transcurso de miles de años, más acumulaciones de turba y sedimentos van quedando enterradas cada vez más profundamente, tal y como se aprecia en la figura 2, mientras se está formando el carbón mineral. Debido al aumento de la temperatura y la presión, el carbón mineral evoluciona desde el lignito hasta la antracita; se liberan gases, sustancias volátiles y aceites, y se enriquece cada vez más en carbono. (Fig.2)

(\*) GEOPRIN. Avenida de Burgos 12, Planta 18. 28036-Madrid. cleon@geoprin.es



Fig. 1 Capa de carbón en la explotación a cielo abierto de Tormaleo, Asturias. Fotografía por cortesía de UMINSA.

La gran mayoría de los depósitos de carbón mineral se formaron durante el período geológico del Carbonífero (entre 345 y 320 millones de años) y el Pérmico (sobre 280 millones de años). Existen también depósitos, menos abundantes pero significativos, formados durante el Triásico y el Jurásico y, en menor cantidad, en el Cretácico.

### Clasificación de los carbones

Existen diferentes tipos de carbones minerales en función del grado de carbonificación que haya experimentado la materia vegetal que originó el carbón. Éstos comprenden desde la turba, que es el menos evolucionado y cuya la materia vegetal muestra poca alteración, hasta la antracita, que es el carbón mineral con una mayor evolución, como se puede apreciar en la tabla I. Tal transformación depende de la edad del carbón y de la profundidad y condiciones de presión, temperatura, entorno y otras.

El rango de un carbón mineral se determina en función de criterios tales como su contenido en materia volátil, contenido en carbono fijo, humedad, poder calorífico, etc. Así, a mayor rango, mayor es el contenido en carbono fijo y mayor el poder calorífico, mientras que disminuyen su humedad natural y la cantidad de materia volátil. Existen varias clasificaciones de los carbones según su rango. Una de las más utilizadas divide a los carbones de mayor a menor rango en: “antracita”, “bituminoso bajo en volátiles”, “bituminoso medio en volátiles”, “bituminoso alto en volátiles”, “sub-bituminoso”, “lignito” y “turba”. La “hulla” es un carbón mineral de tipo bituminoso medio y alto en volátiles. (Tabla I)

Rango	C fijo (%)	Humedad (%)	Materia Volátil (%)	P.C. (MJ/kg)
Antracita	86 - 98	< 3	< 5	23 -33
Bituminoso (Hulla) (bajo, medio y alto en volátiles)	45 - 86	5 - 10	10 - 30	24-35
Sub-bituminoso	35 - 45	15 - 30	30 - 40	20-21
Lignito	25 - 42	40 - 60	40 - 50	10-20
Turba	< 25			

Tabla I. Características de los carbones según su rango.

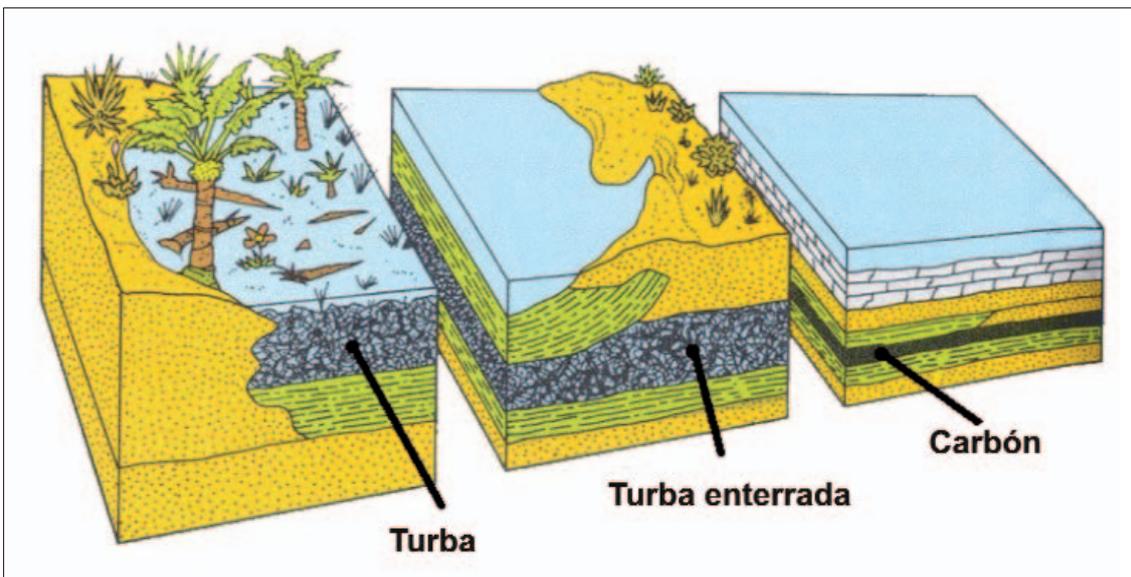


Fig. 2. Esquema del proceso de formación del carbón.

## EXTRACCIÓN DEL CARBÓN

La explotación de las capas de carbón depende de las características geométricas de estos estratos (potencia y buzamiento), profundidad a la que se encuentran, topografía del terreno y, por último, la accesibilidad, que definirá en gran medida el método óptimo que deberá utilizarse. En general, se pueden considerar dos tipos de explotación.

El primero es la “minería subterránea”; las labores se desarrollan en el subsuelo comunicado con la superficie mediante pozos verticales, planos inclinados o galerías en dirección (típico en la minería de montaña). Dentro de los métodos de explotación subterráneos, la técnica de laboreo más importante es el método de “cámaras y pilares”, en el que la estabilidad temporal del hueco que crea el arranque se consigue mediante pilares de carbón, regularmente distribuidos, que se dejan sin arrancar; a veces con hundimiento controlado del techo o con relleno de las cámaras para recuperar los pilares en una segunda fase de explotación.

Otro método de explotación subterránea es la técnica por “subniveles”, caracterizada porque los talleres o tajos de explotación se montan entre dos galerías situadas a distinto nivel (galerías de cabeza y de base), bien mecanizados, como muestra la figura 3 (arranque con rozadoras o cepillos), o manuales (picadores).

El método de laboreo por “sutiraje”, donde se provoca el hundimiento controlado de la parte superior de la capa, desde una galería o guía en carbón, por la que se evacua el material.

El método de laboreo por “tajo horizontal”, similar al sistema de subniveles, pero en este caso con las galerías de cabeza y base al mismo nivel, explotando los tajos en dirección, montados sobre las capas horizontales.

El laboreo “hidráulico” basado en el arranque del carbón mediante un chorro de agua, que aprovecha el arrastre del carbón hasta unos depósitos, desde los que se bombea al exterior con bombas especiales.

El método de laboreo por “gasificación subterránea”, mediante el que se obtiene una parte de la



Fig. 3. Taller “automarchante” con rozadora en Hullas del Coto Cortés, Asturias. Fotografía por cortesía de UMINSA.



Fig. 4. “Corta Pandelo”. Explotación a cielo abierto de Tormaleo, Asturias. Fotografía por cortesía de UMINSA.

energía del carbón, a través de su transformación en el propio yacimiento en gases energéticos. (Fig. 3)

El segundo tipo de explotación es la minería a “cielo abierto”. Entre los distintos tipos existentes, se pueden destacar los siguientes: Las “cortas”, como muestra la figura 4, donde la explotación se realiza por banqueo descendente, con secciones verticales de forma troncocónica; el método de “descubiertas” o minería de un único banco, aplicado en yacimientos tumbados u horizontales con unos recubrimientos de estéril inferiores, por lo general, a los 50 m; la “minería de bancos”, basada en una minería de banqueo con avance unidireccional, aplicada a yacimientos relativamente horizontales, de uno o varios niveles y con recubrimientos potentes, pero que permiten depositar el estéril en el hueco creado, y la “minería de contorno”, aplicada en yacimientos con capas tumbadas, de reducida potencia y topografía generalmente desfavorable.

El carbón directamente extraído de la explotación contiene a menudo impurezas no deseadas, como esterilidades (rocas), restos de cuadros metálicos, etc., y llega como una mezcla de fragmentos de diferentes granulometrías. Sin embargo, el carbón vendible necesita una calidad consistente y homogénea. La preparación del carbón, también conocida como proceso de “lavado” del carbón, se refiere al tratamiento del mineral bruto para asegurar una calidad consistente y la mejora de su idoneidad para usos finales concretos. El tratamiento depende de las propiedades del carbón y de su uso previsto. Puede requerir unos simples triturado y cribado, o pasar por un proceso de tratamiento complejo para reducir el nivel de impurezas que consiste en una concatenación de etapas: trituración y/o molienda, cribado y flotación diferencial, fundamentalmente. Como un ejemplo, para eliminar las impurezas, el mineral bruto se tritura y se separa en fracciones de diferentes tamaños. El material más grueso se suele tratar utilizando un método de separación por medios densos. Durante este proceso, el carbón se separa del resto de impurezas haciéndolo flotar en un depósito que contenga un líquido de una densidad superior a la del carbón, normalmente una suspensión de magnetita fina. Puesto que el carbón es más ligero, flota y puede separarse del resto, mientras que las rocas y el resto de impurezas más pesadas caen al fondo y se retiran como material residual.

## USOS DEL CARBÓN

La gran mayoría de los carbones minerales se destinan como combustible pulverizado en la producción de energía eléctrica en las centrales térmicas (Fig. 5). En los últimos años se han desarrollado otros tipos de centrales que tratan de aumentar el rendimiento y reducir las emisiones contaminantes, entre ellas las centrales de lecho fluido a presión. Otra tecnología en auge es la de los ciclos combinados que utiliza como combustible gas de síntesis obtenido mediante la gasificación del carbón.

Otro de los usos mayoritarios del carbón es la producción de coque (producto de la pirólisis del carbón en ausencia de aire), utilizado como combustible y reductor de menas metálicas en los altos hornos, como se puede apreciar en el esquema de la figura 6. De hecho, dos tercios del acero mundial se producen utilizando coque de carbón, lo que consume alrededor del 13 % de la producción mundial de carbón (cifras del año 2007, BP Statistical Review of World Energy). Asimismo, durante el proceso de coquización se obtiene la brea de alquitrán de hulla. Una gran parte de las breas son utilizadas, junto con el coque de petróleo, en la producción de electrodos para la industria del aluminio y para hornos de arco eléctrico. Las breas de alquitrán de hulla también pueden ser usadas como materia prima para la fabricación del grafito sintético, fibras de carbono y "composites".

Mezclando minerales férricos con carbón, se obtienen aleaciones de hierro enriquecidas en carbono, de mayor resistencia y elasticidad (hierro dulce con contenidos menores del 0,2 % en carbono, acero con contenidos entre el 0,2 % y el 1,2 % y fundición con más del 1,2 %). (Fig.6)

El carbón o el coque de carbón también se utiliza como combustible para la producción de energía térmica en hornos, calefacciones, etc., aunque este uso ha venido perdiendo importancia debido a la uti-

lización de otro tipo de combustibles, como los derivados del petróleo o los derivados de la biomasa.

Algunos productos químicos pueden producirse a partir de subproductos obtenidos durante la coquización, como la creosota, la naftalina, el fenol y el benceno. El gas de amoníaco recuperado de los hornos de coque se utiliza para fabricar sales de amoníaco, ácido nítrico y fertilizantes agrícolas. La gasificación de algunos carbones minerales da lugar a la producción de distintos tipos de gases que pueden utilizarse como combustible o en la fabricación de diversos compuestos químicos.

## EL CARBÓN Y EL MEDIOAMBIENTE

La combustión del carbón, además de energía, produce la emisión de ciertas sustancias contaminantes, como el  $\text{CO}_2$ , óxidos de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), metales y cenizas, provenientes de la materia mineral contenida en el combustible. Los efectos nocivos de estos contaminantes son variados: la afección a la salud y crecimiento de la vegetación, la acidificación de lagos y ríos, la incidencia en la salud de las personas, el deterioro del patrimonio inmobiliario, etc. A modo de ejemplo, puede citarse los problemas surgidos en Noruega y Suecia, países con alta presencia de rocas ácidas (arcillas, granitos, etc.), como consecuencia de la llegada, con los vientos atlánticos, de emisiones ácidas de las centrales térmicas del Reino Unido. Las aguas de lluvia, con óxidos de azufre y nitrógeno, disolvieron pequeñas dosis de aluminio contenidas en los silicatos, que por escorrentía fueron a parar a los cauces fluviales y actuaron como freno en la reproducción de la fauna piscícola.

La emisión de  $\text{SO}_2$  depende de la calidad del carbón, y en consecuencia de su contenido en azufre. La casi totalidad de éste pasa a los gases de combustión emitidos a la atmósfera. En las plantas de carbón convencionales, sin limpieza de gases,

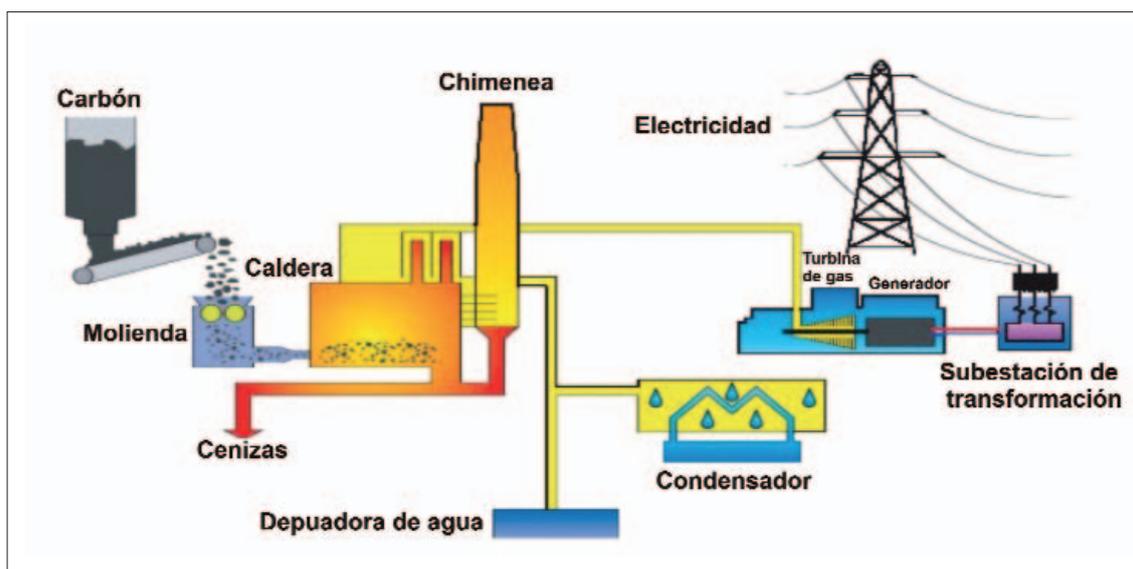


Fig. 5. Esquema de una central eléctrica.

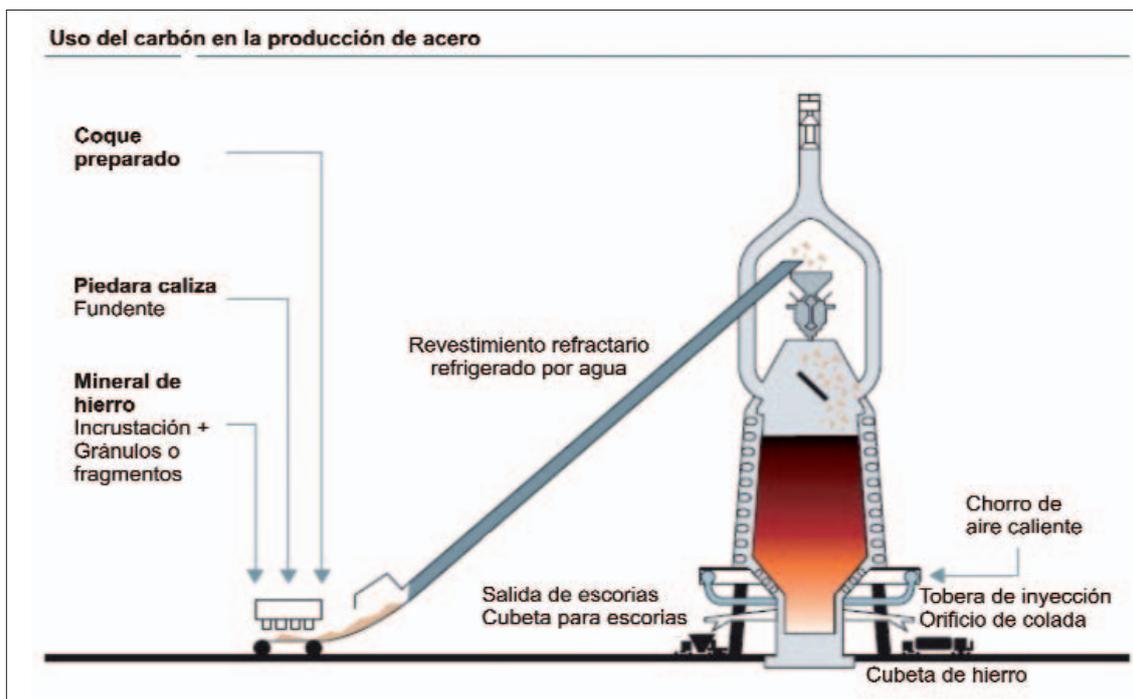


Fig. 6. Esquema de un alto horno.

las emisiones pueden variar entre 0,5 y 5 g SO<sub>2</sub> /kWh, mientras que en las centrales de ciclo combinado suelen estar por debajo de 0,1 g SO<sub>2</sub> /kWh.

Los óxidos de nitrógeno, se generan en el proceso de combustión por combinación del nitrógeno y el oxígeno del aire. Además de provocar problemas de lluvias ácidas, son considerados también como gases de efecto invernadero y por efecto de la luz solar se disocian dando lugar a nitrógeno y ozono (O<sub>3</sub>). Su formación está muy relacionada con la temperatura de combustión, aumentando la cantidad de NO<sub>x</sub> al elevarse ésta. En las centrales térmicas de carbón, las emisiones se sitúan en torno a 3 g NO<sub>x</sub> /kWh. Asimismo, se desprenden materias relacionadas con los procesos industriales, como metales, compuestos de flúor, cloro y otros.

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, estrechamente relacionadas con el efecto invernadero y la presunta aceleración del cambio climático, son también muy importantes en los procesos de combustión del carbón. De hecho, en una central térmica convencional, se emiten unos 1000 g/kWh, algo menos cuando el combustible usado es hulla, y algo más si se usan lignitos.

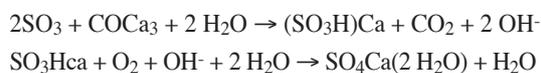
No deben olvidarse, además, las posibles contaminaciones relacionadas con la industria extractiva del carbón. Tal es el caso de la generación de aguas ácidas, lodos y liberación de metano (CH<sub>4</sub>), gas con un efecto invernadero 20 veces superior al del CO<sub>2</sub>, al producirse la desgasificación de las capas explotadas.

Si bien el Protocolo de Kyoto ofrece un marco medioambiental mundial para la disminución de las emisiones contaminantes, por diversos motivos, es de difícil cumplimiento en gran parte de los casos.

### Tecnologías limpias del carbón

Puesto de manifiesto en el apartado anterior los efectos contaminantes asociados a la combustión del carbón, la aplicación de nuevas tecnologías pretende paliar, en mayor o menor medida, la contaminación producida por este combustible. Los principales procesos tecnológicos empleados, considerando la generación de energía eléctrica como el principal uso del carbón en la actualidad, son los descritos a continuación:

“*Desulfuración de gases*”: Los gases de combustión arrastran casi la totalidad del azufre contenido en el carbón en forma de SO<sub>2</sub>. El objetivo perseguido es situar las emisiones por debajo de los 200 mg/Nm<sup>3</sup>, lo que supondría bajar de 0,1 mg SO<sub>2</sub> /kWh. La solución más común es el lavado húmedo de los gases de combustión con una suspensión acuosa de caliza molida o una solución de hidróxido cálcico. De este modo, se obtiene sulfato cálcico hidratado (yeso) y agua, como se puede apreciar en la figura 7:



“*Reducción de óxidos de nitrógeno*”: En cualquier proceso de combustión se produce una combinación del nitrógeno y el oxígeno (NO y NO<sub>2</sub>) contenidos en el aire empleado como comburente. Esta reacción es tanto más intensa cuanto mayor es la temperatura del proceso, incrementándose fuertemente a partir de los 900 °C. De esta manera, en la combustión de antracitas, que requieren mayor temperatura, la formación de NO<sub>x</sub> es del orden de 2000 mg NO<sub>x</sub> /Nm<sup>3</sup>, mientras que para las hullas se sitúa entorno a 600 mg NO<sub>x</sub> /Nm<sup>3</sup>.

Por lo tanto, es fundamental un buen diseño de la caldera y un conocimiento de los mapas térmicos, con el fin de controlar los flujos de carbón y aire y evitar puntos calientes. Otra opción es el diseño de quemadores de bajo  $\text{NO}_x$ , en los que la primera fase de combustión se lleva a cabo con un defecto significativo de aire y en atmósfera reductora, lo que disminuye la formación de estos óxidos. Esta técnica es aplicable a hullas y carbones subbituminosos, aunque no a antracitas, pues darían lugar a una gran cantidad de carbón inquemado. Finalmente, es factible (aunque caro), tratar los gases de combustión en un reactor donde se realiza una reducción catalítica de los óxidos de nitrógeno con amoníaco; así se consigue, en algunas instalaciones, emisiones inferiores a los  $50 \text{ mg/Nm}^3$ . (Fig.7)

“Calderas de lecho fluido”: Son calderas que permiten el desarrollo de la combustión del carbón, reteniendo en las cenizas la mayor parte del azufre y con emisiones reducidas de  $\text{NO}_x$ . El reactor se alimenta con carbón de una granulometría de unos pocos milímetros junto con caliza molida; una corriente ascendente de aire los mantiene en suspensión mientras se desarrolla el proceso de combustión en torno a  $850 \text{ }^\circ\text{C}$ . En el lecho, el carbón representa aproximadamente el 5 % del total (calizas y cenizas). Con esta técnica se consigue retener en las cenizas entre el 96 y el 99,5 % del azufre del combustible, manteniendo las emisiones de  $\text{NO}_x$ , debido a la temperatura inferior a  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ , por debajo de  $300 \text{ mg/Nm}^3$ , en algunos casos con valores inferiores a  $150 \text{ mg/Nm}^3$ .

“Gasificación integrada con ciclo combinado”: Aprovecha la posibilidad de transformar el carbón en gas, mediante procesos en los que se aporta oxígeno y vapor de agua a alta temperatura y atmósfera reductora. Se producen reacciones, tanto exotérmicas, que desprenden calor consumido en el proceso, como endotérmicas, que consumen energía para liberar

elementos o compuestos combustibles ( $\text{CH}_4$  o  $\text{H}_2$ ). El hecho de utilizar una atmósfera reductora evita la formación de  $\text{SO}_2$ . Además, se reducen las emisiones de  $\text{NO}_x$  y de  $\text{CO}_2$  a menos de  $750 \text{ g/kWh}$ . Los rendimientos energéticos de estos procesos se encuentran entre el 75 y 85 % y, en la actualidad, se usan atmósferas de alta presión (entre 10 y 100 bar) que permiten reducir el volumen de los reactores. La figura 8 muestra un esquema de este tipo de calderas.

“Centrales supercríticas”: Son centrales térmicas en las cuales el vapor principal a la salida de la caldera se encuentra por encima de la presión crítica del agua,  $220,9 \text{ bar}$ . Se persigue aumentar el rendimiento del ciclo utilizando diseños más complejos en las calderas y turbinas, lo que aumenta el coste de construcción. Se proyectan para trabajar con carbones homogéneos y de buena calidad, como hullas con bajos contenidos en cenizas y azufre; de esta manera se evita que las instalaciones de desulfuración aumenten los costes operativos de manera importante.

Las emisiones de nitrógeno y de metales son superiores a las correspondientes a la gasificación integrada con ciclo combinado, siendo similares las de  $\text{CO}_2$ . (Fig.8)

“Captura y almacenamiento de  $\text{CO}_2$ ”: Son procesos factibles en la industria a corto y medio plazo, considerados en la mayoría de los programas internacionales (World Coal Institute). La captura sigue tres líneas de trabajo:

1) “Postcombustión”. Plantea la construcción de sistemas de captura basados en ciclos de absorción/desabsorción química, que funcionan de manera reversible dando lugar a un gas de alto contenido en  $\text{CO}_2$ . Estos equipos serían voluminosos y con un coste importante de instalación y operación. Es una línea de trabajo válida para las instalaciones existentes y las de nueva construcción, tanto en centrales térmicas de carbón como de ciclo combinado.

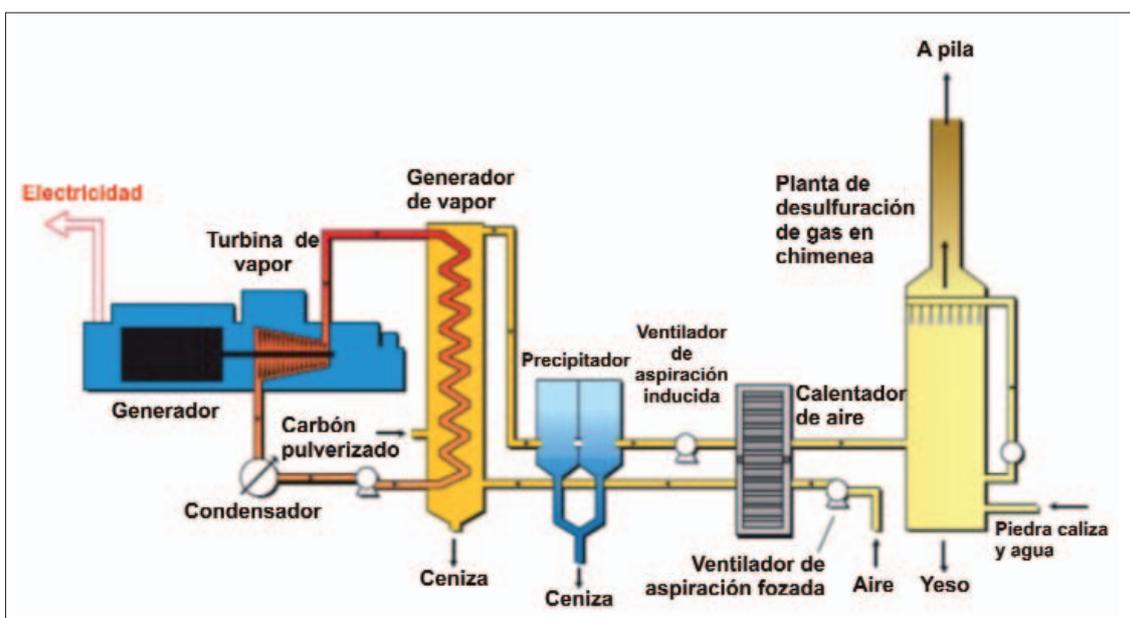


Fig. 7. Esquema de planta de desulfuración de gases.

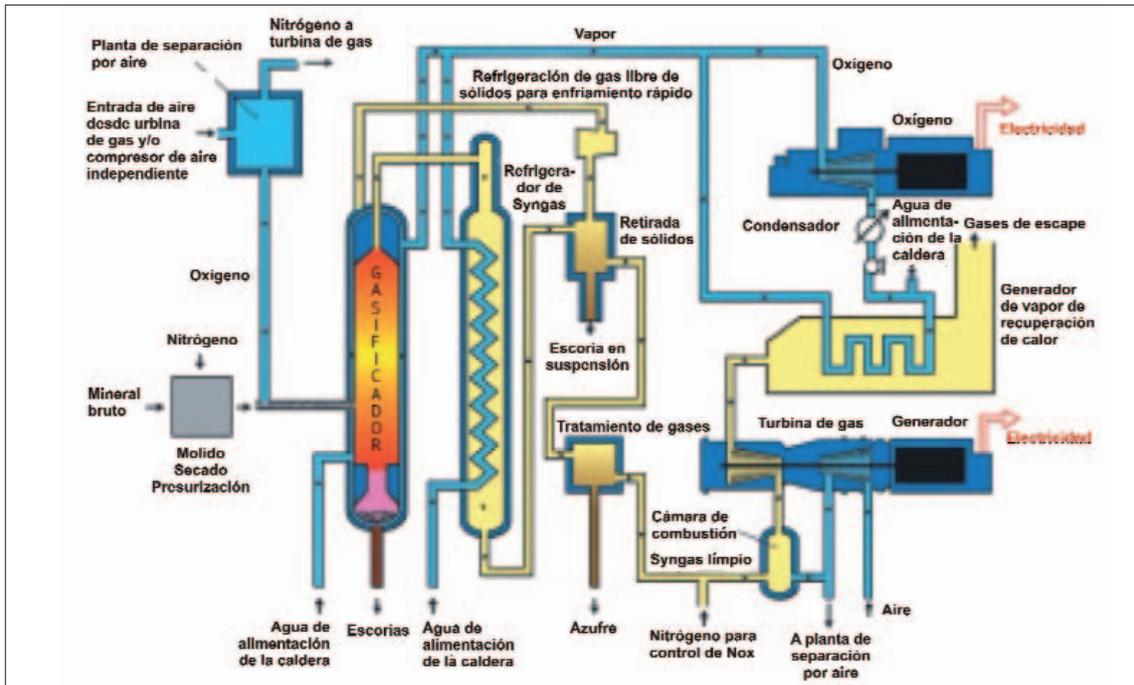


Fig. 8. Esquema de una central integrada de gasificación de ciclo combinado

2) “Precombustión”. Se trataría de separar el  $\text{CO}_2$  a la salida del gasificador, antes de que el gas de síntesis entre en la turbina. Esta técnica sería aplicable a las plantas de gasificación integrada de ciclo combinado.

3) “Oxicombustión”. Esta última línea de trabajo, busca realizar la combustión con un comburente de alto contenido en oxígeno y muy poco nitrógeno, de tal forma que la concentración de  $\text{CO}_2$  en los gases resultantes sea muy elevada. Sería una técnica aplicable a centrales térmicas de carbón de diseño distinto al actual, pues habría que incluir una planta de fraccionamiento de aire para enriquecer el comburente en  $\text{O}_2$  y bajar la presencia de  $\text{N}_2$ .

Una vez se dispone de un gas con alto contenido en dióxido de carbono, debe comprimirse a más de 200 bar, con el fin de licuarlo e inyectarlo en almacenamientos adecuados. Éstos pueden ser estruc-

turas geológicas que contuvieron petróleo o gas, acuíferos salinos profundos y con porosidad adecuada, confinamiento oceánico y cavidades creadas por disoluciones salinas.

## ALGUNAS ESTADÍSTICAS SOBRE EL CARBÓN

En vista de los previsible problemas mundiales de abastecimiento de energía a medio y largo plazo, la emisión de un juicio sobre el futuro del uso del carbón, tanto a nivel nacional como internacional, implica el conocimiento, estudio y reflexión sobre las reservas, producciones y consumos de carbón.

Las reservas probadas de carbón en nuestro país a finales del año 2007 se establecieron en 530 millones de toneladas totales (Tabla II). Esta cifra se

Reservas probadas en 2007 Millones de toneladas	Antracita y bituminosos	Subbituminosos y lignitos	Total	Porcentaje del total
Norte América	116.592	133.918	250.510	29,6%
Sur y Centro América	7.229	9.047	16.276	1,9%
España	200	330	530	0,1%
Europa y Asia	102.042	170.204	272.246	32,1%
África y oriente medio	50.817	174	50.991	6,0%
Zona Asia Pacífico	154.216	103.249	257.465	30,4%
TOTAL MUNDIAL	430.896	416.592	847.488	100,0%

Tabla II. Reservas seguras de carbón. Fuente: BP Statistical review of World Energy 2008.

Consumos de carbón Mtep (1)							Cambio		% total 2007
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007 sobre 2006		
Norte América	593,0	591,1	604,5	603,0	614,9	605,7	613,3	1,3%	19,3%
Centro y Sur América	19,0	18,3	19,6	20,5	20,7	20,9	22,4	7,3%	0,7%
España	19,5	21,9	20,5	21,0	21,2	18,5	20,1	8,8%	0,6%
Europa y Asia	520,4	519,7	535,5	529,2	516,7	532,6	533,7	0,2%	16,8%
Oriente Medio	8,3	8,7	9,0	8,9	9,0	8,9	6,1	-32,1%	0,2%
África	89,3	92,3	97,4	103,4	100,6	101,9	105,9	3,9%	3,3%
Zona Asia Pacífico	1121,9	1176,5	1333,7	1502,9	1630,3	1771,7	1896,2	7,0%	59,7%
TOTAL MUNDIAL	2.351,7	2.406,7	2.599,7	2.768,1	2.892,4	3.041,7	3.177,5	4,5%	100,0%

Tabla III. Consumos mundiales de carbón. Fuente: BP Statistical review of World Energy 2008.  
(1) Millones de toneladas equivalentes de petróleo. Antracitas, carbones bituminosos y subbituminosos.

antoja insignificante frente a los 847488 millones de toneladas de carbón catalogadas como reservas mundiales seguras. No obstante, las previsiones futuras de consumo y producción establecen un abastecimiento de este combustible en torno a los 160 años, frente a los aproximadamente 60 y 50 años del petróleo y gas natural, respectivamente.

En cuanto a los consumos, como se observa en la Tabla III, la tendencia general, a pesar de las energías renovables emergentes, es un alza de los mismos. De hecho, la variación de consumo de carbón de 2007 sobre 2006 se establece en un 4,5 % a nivel mundial, y un 8,8 % en España. Más del 50 % del aumento mundial del consumo de energía primaria corresponde al carbón, y más del 70 % de dicho incremento se concentra en China. De ello se desprende que casi el 40 % del crecimiento mundial de las energías primarias corresponde a un combustible y a un único país. (Tabla III)

Atendiendo a las producciones mundiales de carbón, tal y como se muestra en la tabla IV, la ten-

dencia generalizada es un alza de las mismas. Como en el caso de los consumos, destaca el incremento de producción experimentado por China en su proceso de desarrollo socioeconómico. En cuanto a la producción nacional, ésta ha seguido en los últimos años un decrecimiento gradual que ha obligado al cierre de muchas explotaciones. El motivo fundamental es el alto coste del precio del carbón extraído, comparado con el carbón internacional. Dentro de este ámbito, y hasta el año 2012, se prevén ayudas económicas al sector, sobre la producción, mediante bajas incentivadas de personal (prejubilaciones), compensaciones sobre los costes derivados del cierre de unidades de producción, ayudas al transporte de carbón autóctono entre cuencas mineras, etc. De este modo, se disminuirán progresivamente las aportaciones del carbón nacional a la generación de energía primaria. (Tabla IV)

La generación de energía eléctrica consume entre el 75 % y el 80 % del carbón en el mundo, mientras que en nuestro país, según Carbuñión (MITYC), la cifra aumentaría hasta el 88 % (datos

Países con mayor producción de carbón (Top ten). Millones de toneladas					
	2002	2003	2004	2005	2006
China	1.326,0	1.502,4	1.956	2.226	2.482
USA	916,7	891,9	933	951	990
India	3337,7	340,4	373	398	427
Australia	276,0	274,1	285	301	309
Sudáfrica	223,0	239,3	238	240	244
Rusia	163,6	188,4	210	222	233
Indonesia	101,2	120,1	129	140	169
Polonia	102,6	100,4	100	98	95
Kazajstán	70,6	74,8	83	79	92
Colombia				61	64
Ucrania	82,9	56,8	62		

Tabla IV. Principales productores de carbón. Fuente: World Coal Institute.

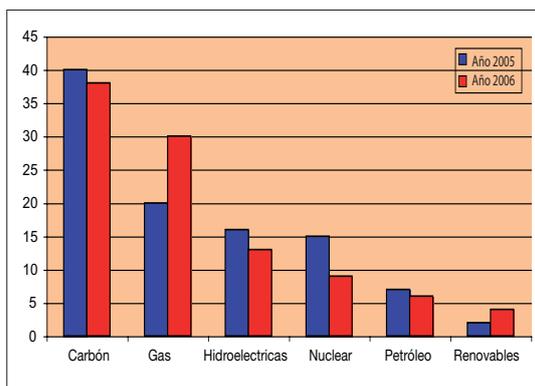


Fig. 9. Previsión mundial sobre generación de energía eléctrica. Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

del año 2006). De hecho, según datos de la Agencia Internacional de la Energía, sobre el total mundial de la electricidad generada en el año 2005, un 40 % utilizó el carbón como combustible, mientras que únicamente el 2 % correspondió a las energías renovables (solar, eólica, geotérmica, biocombustibles,...). La previsión para el año 2030 establece una disminución de todos los combustibles a excepción del gas natural, que incrementa un 10 % su presencia como combustible generador de electricidad, y de las energías renovables, que duplican su cuota del 2 % al 4 %. En particular, el consumo de carbón disminuiría un 2 %, si bien permanece, con mucho, como la principal fuente productora de energía eléctrica, con una cuota de mercado del 38 %. (Fig. 9)

La producción eléctrica, en bernes de generador, en el conjunto nacional ascendió en 2007 a 312138 GWh, un 3% superior a la del año anterior. La estructura de generación, como puede observarse en la figura 10, muestra un aumento significativo de la producción con energías renovables, tanto hidroeléctrica, como eólica, solar fotovoltaica y biomasa. La producción en centrales nucleares baja un 8,4%, consecuencia de la parada programada de recarga realizada en la mayoría de los grupos. Debido a esto, en la producción con centrales de carbón se produjo un aumento del 8,2%, con lo que la participación de dicha producción dentro del conjunto total nacional alcanzó el 24 %. (Fig.10)

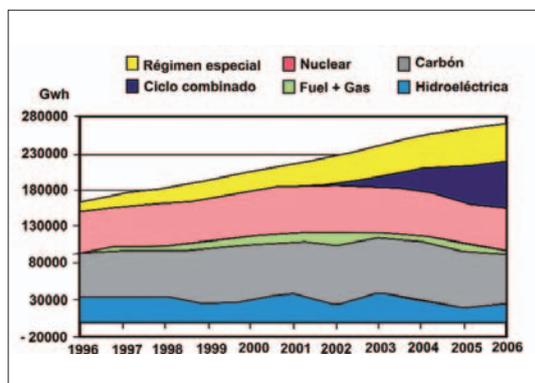


Fig. 10. Evolución de la producción de energía eléctrica en España. Fuente: REE.

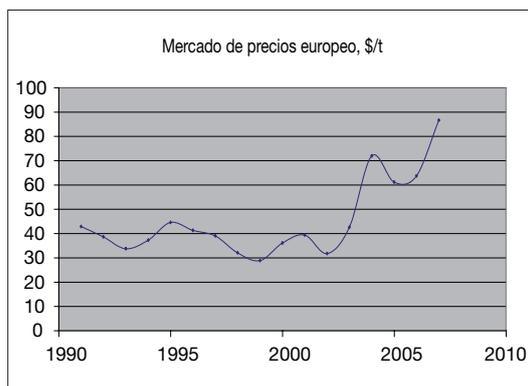


Fig. 11. Evolución de los precios europeos del carbón. Fuente: McCloskey Coal Information Service.

Finalmente, en lo referente a la evolución de los precios del carbón, como muestra la figura 11, se puede apreciar una subida a partir del año 2003, coincidente en gran medida con el crecimiento de la economía mundial y un aumento del consumo de carbón por parte de países emergentes, a la cabeza de los cuales se sitúa China. De hecho, el nivel de precios alcanzado en el año 2007 llega incluso a superar el precio de venta de la tonelada del carbón nacional.

La evolución alcista de los precios, se fundamenta principalmente, en el cambio que algunos países con gran producción de carbón (China y la India) han experimentado, pasando en el mercado internacional, de ser exportadores, a consumir toda la producción de este combustible en sus mercados interiores. Así pues, la oferta internacional de carbón disminuye, produciéndose, en consecuencia, una elevación de los precios en el mercado del carbón. (Fig.11)

Otro factor indicativo del desarrollo económico a nivel mundial es la producción de acero. Íntimamente ligado al carbón, pues el 13 % del carbón mundial (unas 592 Mt) se empleó en el año 2007 para la producción de esta aleación. Según datos del World Coal Institute, el incremento de producción en 2007 respecto al año anterior, se estima en un 7 % como media para todo el mundo. De nuevo, el desarrollo de China como potencia mundial se pone de manifiesto; su producción se elevó un 16 % en estas mismas fechas y alcanzó el 36 % sobre el total en el mundo. (Fig. 12)

## CONCLUSIONES

El continuo aumento de la demanda energética en el mundo, debido a varios factores entre los que destaca el desarrollo económico emergente de algunos países, plantea una incógnita a medio plazo sobre el abastecimiento global energético.

La focalización de las producciones de petróleo y gas natural, en algunos casos en "puntos calientes", así como lo limitado de sus reservas, plantea una dependencia de la mayoría de los países y algunos problemas reales de abastecimiento. Recuérdense, a mo-

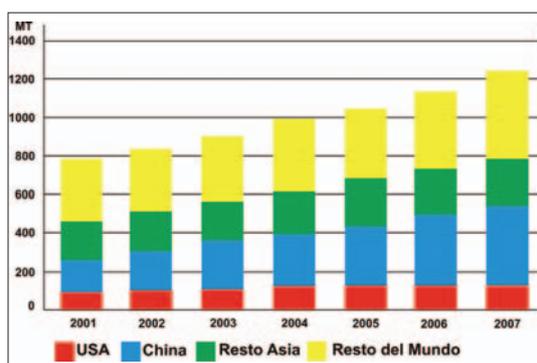


Fig. 12. Evolución de la producción mundial de acero. Fuente: World Coal Institute.

do de ejemplo, los recientes problemas de suministro de gas natural a Europa por parte de Rusia y la dependencia española de las importaciones de crudo o de gas, suministrado por países norteafricanos.

En este entorno, donde en la actualidad el carbón genera un 40 % del suministro eléctrico mundial, y con una tendencia, a corto y medio plazo, continuista, parecería ilógico plantear el hecho de prescindir de este combustible.

La distribución mundial de los yacimientos de carbón en muchos países distintos junto con unas reservas que garantizarían el abastecimiento alrededor de 160 años, incluido el previsible aumento de demanda energética, son determinantes para competir con el petróleo y gas natural. Además, su comercialización y transporte entre países, resulta, con mucho, menos problemática y con una mayor garantía que en el caso de los combustibles anteriormente citados.

Por otro lado, si bien las energías renovables y no contaminantes están evolucionando positivamente en los países desarrollados, las economías menos poderosas son incapaces de integrar en su organigrama energético estas nuevas tecnologías, pues aún suponen unos costes elevados. Debe tenerse en cuenta, además, que algunas de estas energías no son totalmente controlables. Así, por ejemplo, en años con menor balance hídrico, la generación de energía hidráulica disminuirá su producción, y la energía eólica depende completamente del régimen de los vientos.

Por último, y no por ello menos importante, la aplicación de tecnologías “limpias”, actuales y futuras, a los procesos de combustión del carbón, disminuye o anula las emisiones contaminantes y permite un uso medioambientalmente sostenible de este combustible. La construcción de plantas de desulfuración, las calderas de lecho fluido, la gasificación integrada en ciclo combinado para la generación de hidrógeno y metano a partir del carbón, junto con las centrales supercríticas, son una realidad a día de hoy. A corto plazo, la captura y almacenamiento del CO<sub>2</sub> se presenta como una alternativa para disminuir las emisiones de este gas a la atmósfera, y puede representar el cumplimiento con el Protocolo de Kyoto en lo referente a la emisión de este gas de efecto invernadero.

## BIBLIOGRAFÍA

- BP. (2008) BP Statistical Review of World Energy, June 2008. “<http://www.bp.com/productlanding.do?categoryId=6929&contentId=7044622>”
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Secretaría General de Energía. (2007) La Energía en España. “<http://www.mityc.es/energia/es-ES/Servicios1/Destacados/LaEnerg%C3%ADaenEspa%C3%B1a2007.pdf>”
- World Coal Institute. (2007) Coal and Steel Facts, 2007 Edition. “<http://www.worldcoal.org/pages/content/index.asp?PageID=189>”
- World Coal Institute, Programa de I+D de la IEA sobre Gases de Efecto Invernadero. (2007) Almacenamiento de CO<sub>2</sub> en el Subsuelo. [http://www.worldcoal.org/publications/\\_&\\_media.asp](http://www.worldcoal.org/publications/_&_media.asp)”
- World Coal Institute. (2008) CCS & The Clean Development Mechanism; a submission about carbon dioxide capture and storage in geological formations as clean development mechanism activities “[http://www.worldcoal.org/publications/\\_&\\_media.asp](http://www.worldcoal.org/publications/_&_media.asp)”
- World Coal Institute. (2008) Coal Facts, 2008 Edition. “<http://www.worldcoal.org/pages/content/index.asp?PageID=188>”
- World Coal Institute. (2008) The Coal Resource, a Comprehensive Overview of Coal. “[http://www.worldcoal.org/publications/\\_&\\_media.asp](http://www.worldcoal.org/publications/_&_media.asp)”. ■

*Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 31 de enero de 2009 y aceptado definitivamente para su publicación el 11 de mayo de 2009.*