

INSTITUTO MUNDIAL DEL CARBÓN

# EL CARBÓN COMO RECURSO

UNA VISIÓN GENERAL DEL CARBÓN

---

# EL CARBÓN COMO RECURSO

---

¿DE DÓNDE PROVIENE EL CARBÓN?

¿PARA QUÉ SE UTILIZA?

¿SE SIGUE UTILIZANDO?

El carbón es una de las fuentes de energía más importantes del mundo, con la que se produce casi el 40% de la electricidad mundial. En muchos países, esta cifra es todavía mayor: Polonia obtiene el 94% de su electricidad gracias al carbón, Sudáfrica el 92%; China el 77%; y Australia el 76%. El carbón ha sido la fuente de energía con mayor crecimiento en los últimos años; mayor que la del gas, el petróleo, la energía nuclear, la energía hidroeléctrica y las energías renovables.

El carbón ha tenido un papel importante durante siglos, no sólo en la producción de electricidad, sino también como el principal combustible para la producción de acero y cemento, así como en otras actividades industriales.

*El carbón como recurso* proporciona una visión general completa del carbón y del papel que desempeña en nuestras vidas. Cubre cómo se forma el carbón, cómo se extrae, su uso y el impacto que tiene en nuestras sociedades en el medio ambiente. Describe el papel fundamental del carbón como fuente energética y cómo el carbón, junto con otras fuentes de energía, resultará vital a la hora de satisfacer las crecientes necesidades energéticas de todo el mundo.

Esperamos poder contestar todas las preguntas que tenga acerca del sector del carbón, aunque si necesita más información, puede que le sean útiles

diversas publicaciones del Instituto Mundial del Carbón (WCI).

- >> *El papel del carbón como fuente de energía (The Role of Coal as an Energy Resource)* (2003) describe el papel que desempeña el carbón en el mundo actual y examina dicho papel en un contexto más amplio, como la cada vez mayor demanda energética, la seguridad energética y los desafíos medioambientales.
- >> *Carbón limpio – Creando un futuro gracias a la tecnología (Clean Coal – Building a Future through Technology)* (2004) en la que se habla de cómo los desafíos medioambientales a los que se enfrenta el carbón, especialmente el uso del carbón, pueden superarse mediante el desarrollo y utilización de tecnologías del carbón limpias.
- >> En 2001, el Instituto Mundial del Carbón publicó *Empresas sostenibles, el camino del futuro para el sector del carbón (Sustainable Entrepreneurship, the Way Forward for the Coal Industry)* – en coordinación con el Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP) – observando el carbón dentro de un contexto más amplio de desarrollo sostenible.

**Puede conseguir copias de todas las publicaciones del WCI y más información acerca del sector del carbón en nuestro sitio web: [www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)**

## Índice

2	<b>SECCIÓN 1 ¿QUÉ ES EL CARBÓN?</b>
2	Tipos de carbón
3	¿Dónde se encuentra el carbón?
4	¿Cómo buscar carbón?
7	<b>SECCIÓN 2 EXTRACCIÓN DE CARBÓN</b>
7	Extracción subterránea
7	Extracción de superficie
8	Preparación del carbón
9	Transporte del carbón
10	Seguridad en las explotaciones de carbón
11	Extracción de carbón y la comunidad
13	<b>SECCIÓN 3 EL MERCADO GLOBAL DEL CARBÓN</b>
13	Producción de carbón
13	Consumo de carbón
14	Comercio de carbón
16	Seguridad energética
19	<b>SECCIÓN 4 ¿CÓMO SE UTILIZA EL CARBÓN?</b>
19	Historia del uso del carbón
19	¿Cómo se convierte el carbón en electricidad?
21	Importancia de la electricidad en todo el mundo
22	El carbón en la producción de hierro y acero
24	Licuefacción del carbón
24	Carbón y cemento
25	Otros usos del carbón
27	<b>SECCIÓN 5 EL CARBÓN Y EL MEDIO AMBIENTE</b>
27	Extracción de carbón y medio ambiente
27	Alteraciones terrestres
27	Hundimiento de explotaciones
27	Polución del agua
28	Polvo y contaminación acústica
28	Rehabilitación
29	Uso del metano procedente de las explotaciones de carbón
29	Uso del carbón y medio ambiente
31	Respuesta tecnológica
31	Reducción en las emisiones de partículas
32	Cómo prevenir la lluvia ácida
33	Reducción de las emisiones de dióxido de carbono
36	El carbón y las energías renovables
37	Cómo superar los impactos medioambientales
39	<b>SECCIÓN 6 SATISFACER LAS DEMANDAS FUTURAS DE CARBÓN</b>
39	El papel del carbón
40	Cómo lograr mayores ventajas medioambientales
41	El carbón y nuestra energía futura
42	<b>OTRAS LECTURAS</b>

## SECCIÓN UNO

## ¿QUÉ ES EL CARBÓN?

» El carbón son los restos alterados de la vegetación prehistórica que se acumularon originalmente en pantanos y ciénagas. »



Turba



Carbón marrón



Carbón subbituminoso



Carbón mineral

Los depósitos de lodos y otros sedimentos, junto con los movimientos en la corteza terrestre (conocidos como movimientos tectónicos) enterraron estos pantanos y ciénagas, a menudo a grandes profundidades. Al quedar enterrado, el material vegetal fue sometido a altas temperaturas y presiones. Esto provocó cambios físicos y químicos en la vegetación, transformándola en turba y después en carbón.

La formación de carbón se inició durante el periodo carbonífero, conocido como la primera era del carbón, que comprende desde hace 360 millones de años a hace 290 millones de años.

La calidad de cada depósito de carbón se determina por la temperatura y presión, así como por el tiempo de formación, a lo que nos referimos como "madurez orgánica". Inicialmente, la turba se convierte en lignito o "carbón marrón", que son tipos de carbón con una madurez orgánica baja. En comparación con otros carbones, el lignito es bastante blando y su color puede variar de negro oscuro a diferentes tonalidades de marrón.

Durante muchos millones de años, los efectos continuados de la temperatura y la presión han producido cambios en el lignito, aumentando progresivamente su madurez orgánica y transformándolo en la gama de carbones denominados "subbituminosos".

Se produjeron más cambios químicos y físicos hasta que estos carbones se hicieron más duros y negros, formando los carbones "bituminosos" o carbones minerales. En las condiciones adecuadas, el aumento progresivo de la madurez orgánica pudo continuar, formando finalmente la antracita.

### Tipos de carbón

El índice de cambio sufrido por un carbón al madurar desde la turba hasta la antracita, conocido como carbonificación, tiene una gran importancia en las propiedades físicas y químicas, y se denomina "nivel" del carbón.

Los carbones de rango bajo, como el lignito y los carbones subbituminosos son normalmente más blandos y desmenuzables, con un aspecto más mate y terroso. Se caracterizan por niveles de humedad altos y bajo contenido en carbono, por lo que su contenido energético también es bajo.

Los carbones de nivel alto suelen ser más duros y resistentes, y a menudo tienen un color más negro y vítreo. Contienen más carbono, menos humedad y producen más energía. La antracita se encuentra en el rango superior de la escala de categorías y tiene un contenido superior de carbono y energía, y un nivel inferior de humedad (véase el diagrama de la página 4).

#### Definición

El carbón es un combustible fósil. Es una roca combustible, sedimentaria y de origen orgánico, compuesta principalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Se formó a partir de la vegetación, que se ha ido consolidando entre otros estratos de roca y se ha alterado por los efectos combinados de la presión y el calor a lo largo de millones de años para acabar formando las vetas de carbón.

Fotografías cedidas por cortesía de la Asociación Australiana del Carbón

### ¿Dónde se encuentra el carbón?

Se estima que existen unas reservas de carbón de 984.000 millones de toneladas en todo el mundo (véanse las definiciones). Esto significa que hay suficiente carbón para los próximos 190 años (véase el gráfico). Hay carbón en todo el mundo: puede encontrarse en todos los continentes, en más de 70 países, con las mayores reservas ubicadas en EEUU, Rusia, China e India.

#### Recurso

La cantidad de carbón que puede haber en un depósito o cuenca carbonífera. Este valor no tiene en cuenta el hecho de que sea o no rentable económicamente su extracción. No todos estos recursos pueden extraerse utilizando la tecnología actual.

#### Reservas

Las reservas pueden definirse en términos de reservas demostradas (o medidas) y reservas probables (o indicadas). Las reservas probables han sido estimadas con un nivel inferior que las reservas demostradas.

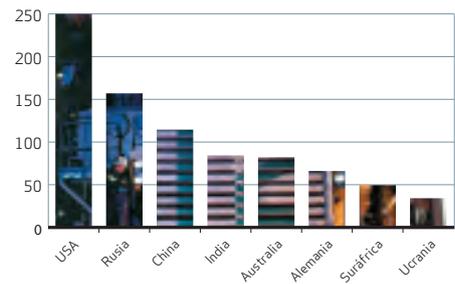
#### Reservas demostradas

Reservas que no sólo se consideran como extraíbles sino que también se consideran rentables económicamente. Esto significa que tienen en cuenta la tecnología de extracción y la rentabilidad económica de su extracción. Por lo tanto, las reservas demostradas cambiarán dependiendo del precio del carbón; si el precio es bajo, las reservas demostradas disminuirán.

Fuente: IEA Coal Information 2004

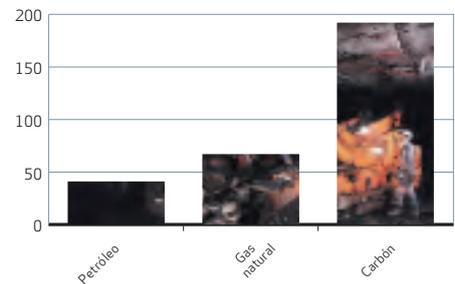
#### Países con las mayores reservas de carbón, 2003 (miles de millones de toneladas)

Fuente: BP 2004



#### Relaciones reservas/producción, 2003 (años)

Fuente: BP 2004



Aunque se estima que queda suficiente carbón para los próximos 190 años, este periodo podría ampliarse debido a una serie de desarrollos, entre los que se incluyen:

- >> el descubrimiento de nuevas reservas gracias a las actividades de exploración actuales y futuras;
- >> mejoras en las técnicas de extracción, que permitirán acceder a reservas anteriormente inaccesibles.

Todos los combustibles fósiles terminarán por desaparecer, por lo que resulta esencial que los utilicemos de la manera más eficaz posible. Siguen realizándose mejoras significativas en el uso eficaz del carbón para poder generar más energía a partir de cada tonelada de carbón producida.

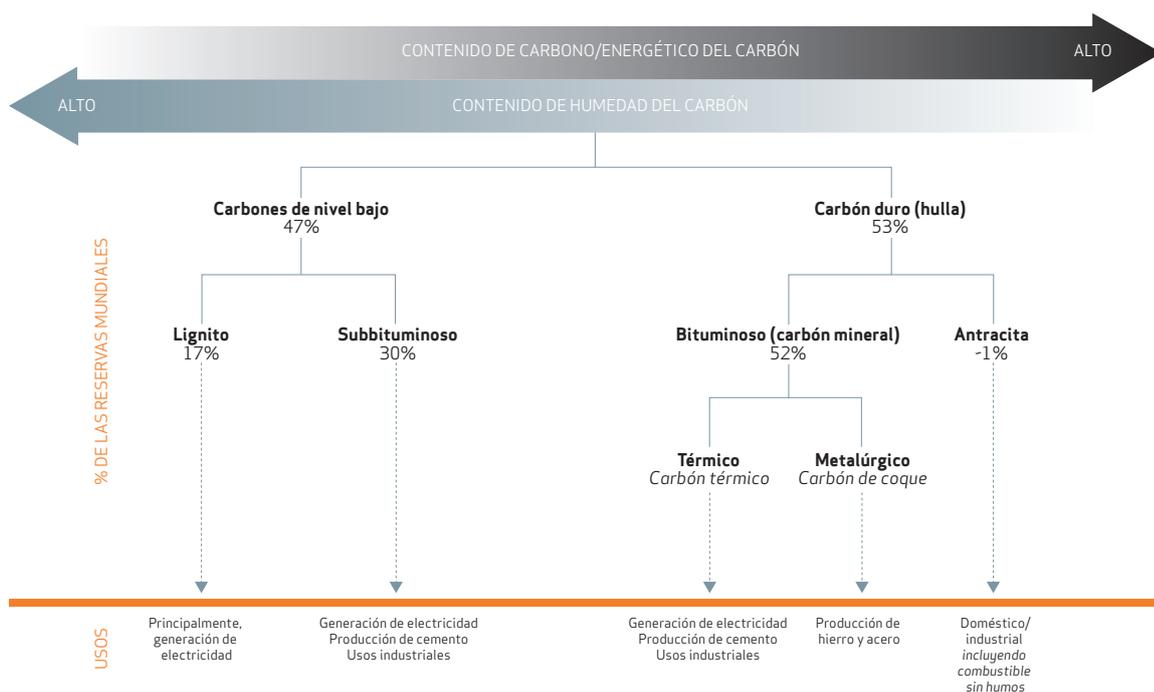
### ¿Cómo buscar carbón?

Las reservas de carbón se descubren mediante actividades de exploración. El proceso suele suponer la creación de un mapa geológico de la zona, la realización de estudios geoquímicos y geofísicos, y una perforación de exploración. Esto permite obtener una imagen precisa de la zona que se pretende desarrollar.

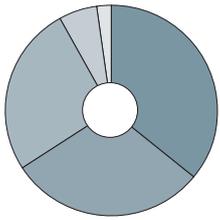
La zona sólo se convertirá en una explotación si hay suficiente carbón y de una calidad adecuada para que pueda rentabilizarse su extracción. Una vez confirmados estos datos, se inician las operaciones de extracción.

#### SECCIÓN UNO FINAL

#### Tipos de carbón



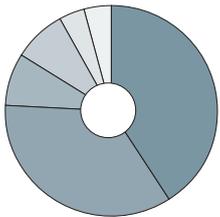
## Reservas de carbón mostrando cuotas por regiones (finales de 2003)



■ Europa y Eurasia	36%
■ Asia (Zona Pacífico)	30%
■ Norteamérica	26%
■ África	6%
■ Sudamérica y América Central	2%

Las reservas de carbón de Oriente Medio suponen menos del 1% de las reservas totales  
Fuente: BP 2004

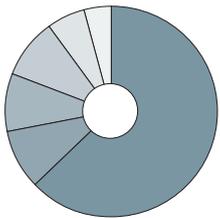
## Reservas de gas mostrando cuotas por regiones (finales de 2003)



■ Oriente Medio	41%
■ Europa y Eurasia	35%
■ Asia (Zona Pacífico)	8%
■ África	8%
■ Norteamérica	4%
■ Sudamérica y América Central	4%

Fuente: BP 2004

## Reservas de petróleo mostrando cuotas por regiones (finales de 2003)



■ Oriente Medio	63%
■ África	9%
■ Sudamérica y América Central	9%
■ Europa y Eurasia	9%
■ Norteamérica	6%
■ Asia (Zona Pacífico)	4%

Fuente: BP 2004



Las explotaciones a cielo abierto grandes pueden cubrir una zona de muchos kilómetros cuadrados y utilizan piezas de maquinaria muy grandes, incluyendo dragas excavadoras (imagen). Fotografía cedida por cortesía de Anglo Coal.

# EXTRACCIÓN DE CARBÓN

>> El carbón se extrae mediante dos métodos: en superficie o “a cielo abierto” y mediante extracción subterránea o “de profundidad”. >>

La selección del método de extracción viene determinada por la geología del depósito carbonífero. La extracción subterránea supone actualmente el 60% de la producción mundial de carbón, aunque en algunos países productores la extracción de superficie es más común. La extracción de superficie representa el 80% de la producción en Australia, mientras que en EEUU se utiliza para obtener el 67% de su producción.

## Extracción subterránea

Existen dos métodos principales de extracción subterránea: extracción mediante pilares y la extracción por tajos largos.

En la extracción mediante pilares, los depósitos de carbón se extraen cortando una red de “salas” en la veta de carbón y dejando “pilares” de carbón para sujetar el techo de la mina. Estos pilares pueden suponer hasta el 40% del total de carbón de la veta, aunque este carbón puede, en ocasiones, extraerse en una etapa posterior. Esto se consigue mediante lo que se conoce como “trabajo explotado en retirada”, en el que el carbón se extrae de los pilares al retirarse los trabajadores. En ese momento, se permite que el techo caiga y se abandona la explotación.

La extracción por tajos largos supone la extracción completa del carbón de una sección de la veta o “cara” utilizando rafadoras-cargadoras mecánicas.

Una cara de tajo largo requiere una planificación detallada para garantizar que la geología es favorable en toda la sección antes de iniciar los trabajos. La “cara” de carbón puede variar en longitud entre 100-350m. Unas fijaciones hidráulicas de avance automático soportan provisionalmente el techo mientras se extrae el carbón. Una vez extraído el carbón de la zona, se deja que se desplome el techo. Más del 75% del carbón del depósito puede extraerse de paneles de carbón que pueden extenderse a lo largo de 3 km en la misma veta.

La principal ventaja de la extracción mediante pilares respecto a la extracción por tajos largos es que permite el inicio de la producción de carbón de forma mucho más rápida, utilizando maquinaria móvil con un coste inferior a los 5 millones de dólares (la maquinaria necesaria para la extracción por tajos largos puede llegar a costar 50 millones de dólares).

La selección de la técnica de extracción depende de cada lugar, pero siempre se basa en criterios económicos; incluso se pueden utilizar ambos métodos en una única explotación.

## Extracción de superficie

La extracción de superficie, también conocida como de “a cielo abierto”, sólo resulta rentable cuando la veta de carbón está cerca de la

superficie. Este método puede recuperar una mayor proporción del yacimiento de carbón que la extracción subterránea, ya que se trabaja en todas las vetas de carbón, llegándose a recuperar un 90% o más del carbón. Las explotaciones a cielo abierto grandes pueden cubrir una zona de muchos kilómetros cuadrados y utilizan piezas de maquinaria muy grandes, incluyendo: dragas excavadoras, que retiran el material sobrante; excavadoras; camiones de gran tonelaje, para el transporte de material sobrante y carbón, excavadoras de cuba y cintas transportadoras.

#### Definición

El material superior es la capa de suelo y rocas (estrato) entre las vetas de carbón y la superficie.

El material superior del suelo y la roca se rompe primero con explosivos, después se retira con dragas excavadoras o mediante excavadoras y camiones. Una vez expuesta la veta de carbón, se perfora, fractura y extrae de forma sistemática en tiras. El carbón se carga en grandes camiones o cintas transportadoras para su transporte a la planta de preparación de carbón o directamente el lugar en el que se utilizará.

#### Preparación del carbón

El carbón directamente extraído del suelo, conocido como mineral bruto (ROM), a menudo contiene impurezas no deseadas, como rocas y suciedad, y llega en una mezcla de fragmentos de diferentes tamaños. Sin embargo, los usuarios de carbón necesitan un carbón con una calidad consistente. La preparación del carbón, también conocida 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 un simple triturado o pasar por un proceso de tratamiento complejo para reducir el nivel de impurezas.

Para eliminar las impurezas, el mineral bruto se tritura y se separa en fracciones de diferentes tamaños. El material más grande se suele tratar utilizando un método de separación de densidad

media. Durante este proceso, el carbón se separa del resto de impurezas haciéndolo flotar en un depósito que contenga un líquido de una gravedad específica, 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.

Las fracciones más pequeñas se tratan de diferentes modos, normalmente basándose en las diferencias de masa, como en máquinas de centrifugado. Una máquina de centrifugado es una máquina que hace girar un contenedor a gran velocidad, haciendo que los sólidos y los líquidos de su interior se separen. Algunos métodos alternativos utilizan las diferentes propiedades de superficie del carbón y de los residuos. En la "flotación por espuma", las partículas de carbón se eliminan con una espuma producida al insuflar aire en un baño de agua que contiene ciertos reagentes químicos. Las burbujas atraen el carbón, pero no los residuos, que se eliminan para recuperar las partículas de carbón. Los recientes desarrollos



La extracción por tajos largos supone la extracción completa del carbón de una sección de la veta o "cara" utilizando rafadoras-cargadoras mecánicas. Fotografía cedida por cortesía de Joy Mining Machinery.

#### Definición

DWT – Toneladas de peso muerto, que se refiere a la capacidad de un barco, incluyendo su carga, depósito de combustible, agua potable, etc...

## Operaciones de extracción subterránea

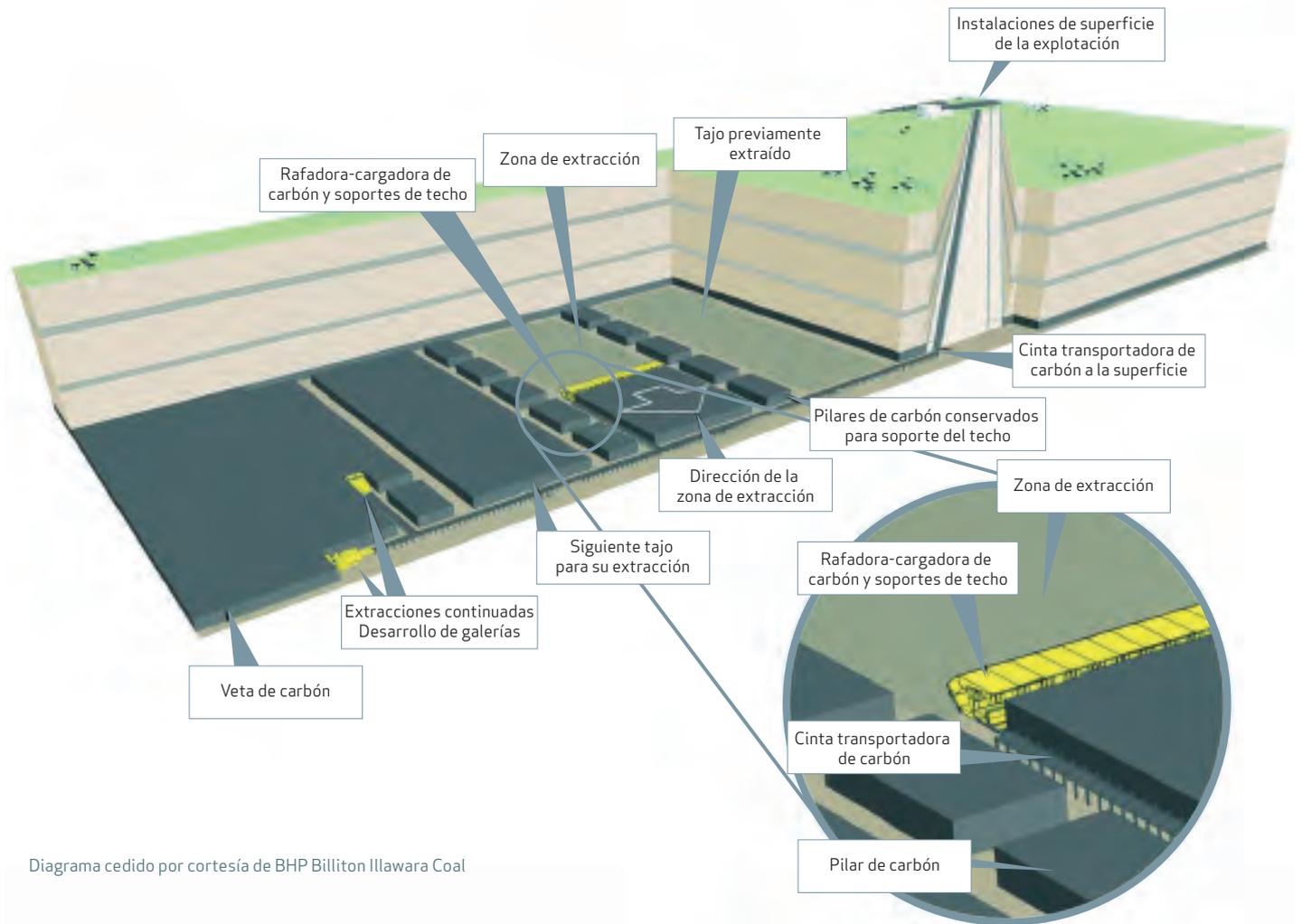


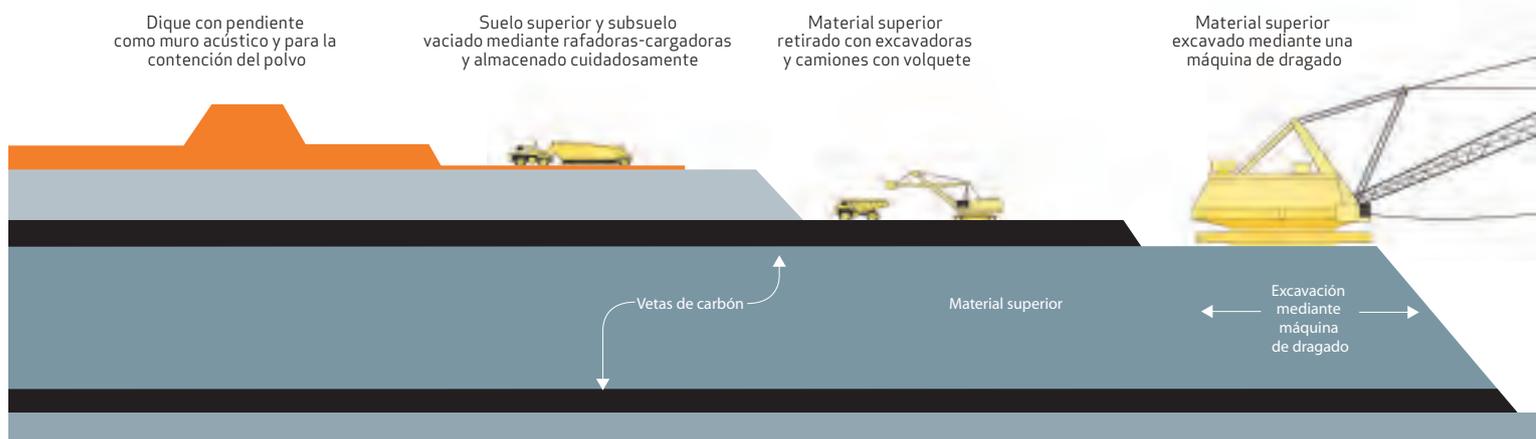
Diagrama cedido por cortesía de BHP Billiton Illawara Coal

tecnológicos han permitido aumentar la recuperación de material carbonífero ultrafino.

### Transporte del carbón

El método de transporte de carbón depende de la distancia que se va a recorrer. El carbón se suele transportar en cintas transportadoras o en camiones para distancias cortas. Se utilizan trenes y barcazas para recorrer distancias más largas dentro de los mercados locales, y también se puede mezclar el carbón con agua para formar un fango de carbón y transportarlo a través de un conducto.

Los barcos se suelen utilizar para el transporte internacional, en tamaños que van desde Handymax (40-60.000 DWT), Panamax (sobre 60-80.000 DWT) hasta grandes buques Capesize (sobre 80.000+ DWT). Alrededor de 700 millones de toneladas (Mt) de carbón se transportaron internacionalmente durante 2003, y el 90% de este transporte se realizó por mar. El transporte de carbón puede resultar muy caro; en algunos casos representa hasta el 70% del coste del carbón transportado.



Operaciones de extracción de superficie y rehabilitación de explotaciones



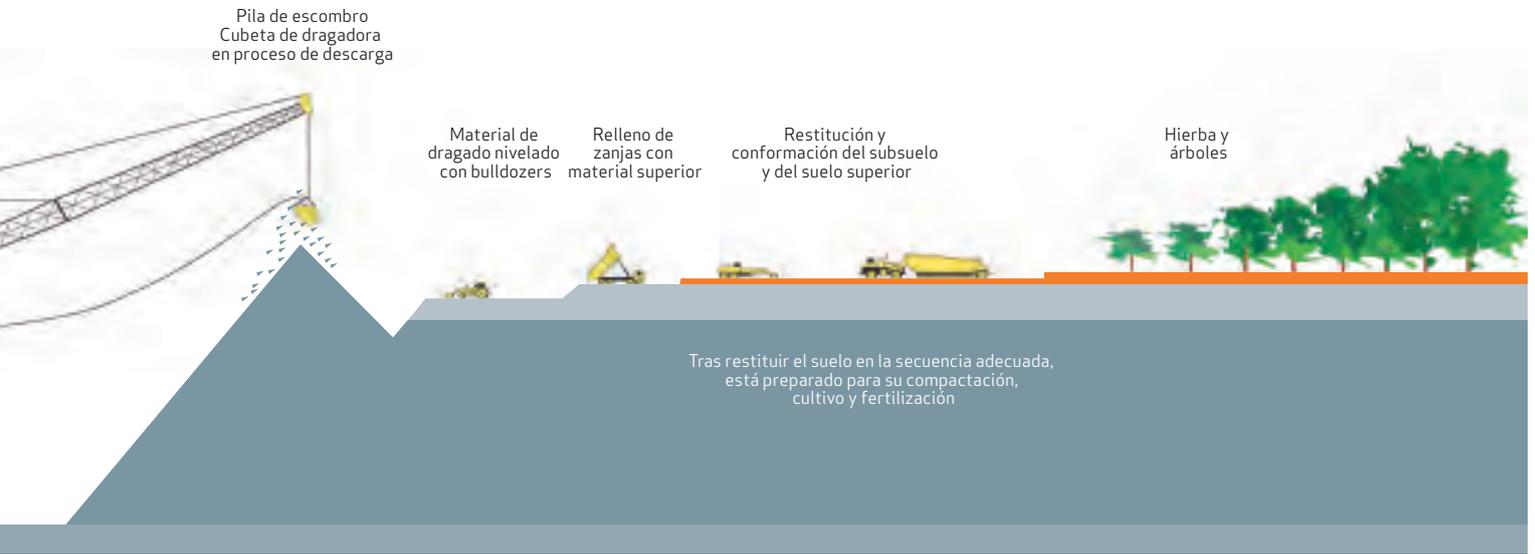
Las celdas de flotación de Goedehoop Colliery se utilizan para la preparación del carbón. Fotografía cedida por cortesía de Anglo Coal.

Se toman medidas en cada etapa del transporte y almacenamiento del carbón para minimizar el impacto medioambiental (véase la Sección 5 para obtener más información acerca del carbón y el medio ambiente).

### Seguridad en las explotaciones de carbón

El sector del carbón se toma el asunto de la seguridad de forma muy seria. La extracción subterránea de carbón implica un riesgo de seguridad mayor que la extracción de carbón a cielo abierto. No obstante, en las explotaciones modernas de carbón existen procedimientos de seguridad rigurosos, normas de higiene y seguridad y educación y formación del personal, que han supuesto una mejora significativa en los niveles de seguridad tanto en la extracción subterránea como en la de a cielo abierto (véase el gráfico de la página 11 para acceder a una comparación de niveles de seguridad en las extracciones de carbón en EEUU respecto a otros sectores industriales).

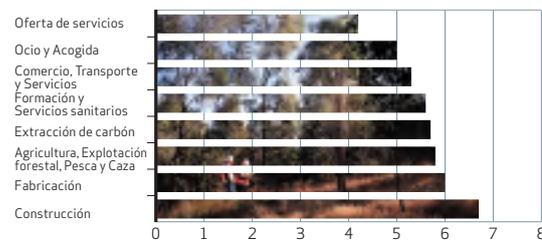
Aún existen problemas dentro del sector. La mayoría de accidentes y muertes en explotaciones de carbón se producen en China. La mayoría de los accidentes se producen en pequeñas explotaciones, a menudo ilegales, en las que las



técnicas de extracción se basan en la mano de obra y utilizan un equipamiento muy básico. El gobierno chino está tomando medidas para mejorar los niveles de seguridad, incluyendo el cierre forzoso de estas pequeñas explotaciones y todas aquellas que no cumplan las normas de seguridad estándar.

**Índices de accidentes por sectores en EEUU, 2003 (por cada 100 trabajadores a jornada completa)**

Fuente: Oficina de estadísticas laborales, Ministerio de Trabajo de EEUU



**Extracción de carbón y la comunidad**

La extracción de carbón suele tener lugar en zonas rurales en las que la minería y las industrias asociadas suelen ser la principal fuente de trabajo de la zona. Se estima que el sector del carbón emplea a más de 7 millones de personas en todo el mundo, el 90% de las cuales se encuentran en países en desarrollo.

No sólo las explotaciones de carbón emplean directamente a millones de personas en todo el mundo, generan ingresos y empleo en otros sectores de la industria regional dependiente de la extracción de carbón. Estos sectores proporcionan bienes y servicios para la extracción de carbón, como combustible, electricidad y equipos, o dependen del gasto generado por los empleados de las explotaciones de carbón.

significativa de ingresos locales en forma de salarios, programas para la comunidad y apoyos para la producción de la economía local.

No obstante, la minería y la generación de energía puede provocar conflictos sobre el uso de la tierra y dificultades en las relaciones con vecinos y comunidades. Muchos de estos conflictos pueden resolverse arguyendo que las explotaciones mineras son temporales. La rehabilitación de la explotación significa que la tierra puede volver a utilizarse para otros fines tras el cierre de la explotación.

Las explotaciones de carbón suponen una fuente



Se comercia con el carbón internacionalmente, recorriendo éste grandes distancias por mar hasta sus mercados. Fotografía cedida por cortesía de la Corporación Portuaria de Queensland.

## SECCIÓN TRES

# EL MERCADO GLOBAL DEL CARBÓN

>> El carbón es una industria global, con explotaciones mineras en más de 50 países y utilizado en más de 70. >>

## Principales importadores de carbón, 2003 (Mt)

Japón	162
República de Corea	72
China Taipei	54
Alemania	35
Reino Unido	32
Rusia	24
India	24
EEUU	23
Países Bajos	22
España	22

Fuente: IEA Coal Information 2004

El mundo consume actualmente más de 4.050 Mt de carbón al año. El carbón se utiliza en diferentes sectores, incluyendo la generación de electricidad, la producción de hierro y acero, la producción de cemento y como combustible líquido. La mayor parte del carbón se utiliza para la generación de electricidad, carbón térmico o lignito, o para la producción de hierro y acero, carbón de coque.

## Producción de carbón

Se producen más de 4.030 Mt de carbón en la actualidad, con un incremento del 38% en los últimos 20 años. La producción de carbón ha crecido más rápidamente en Asia, mientras que en Europa se ha producido un descenso en la producción.

Los países con mayor producción no están confinados a una única región. Los cinco principales productores son China, EEUU, India, Australia y Sudáfrica. La mayoría de la producción mundial de carbón se utiliza en el país en el que se produce; sólo un 18% de la producción de carbón se dedica al comercio internacional de carbón.

Se espera que la producción global de carbón alcance los 7.000 millones de toneladas en 2030, representando China la mitad del crecimiento durante ese periodo. La producción de carbón térmico se prevé que alcance los 5.200 millones de toneladas, la de carbón de coque los 624 millones de toneladas, y el carbón bituminoso los 1.200 millones de toneladas.

## Consumo de carbón

El carbón juega un papel vital en la generación de electricidad y se espera que este papel siga siendo el mismo. El carbón sirve de combustible para generar el 39% de la electricidad producida en el mundo y esta proporción será prácticamente la misma durante los próximos 30 años.

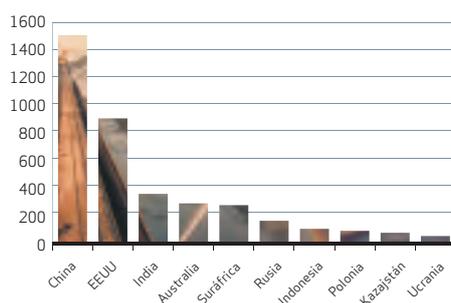
Se prevé que el consumo de carbón térmico crezca un 1,5% cada año durante el periodo 2002-2030. El lignito, utilizado también para generar electricidad, crecerá a un ritmo de un 1% anual. La demanda de carbón de coque para la producción de hierro y acero aumentará un 0,9% anual durante este periodo.

El mayor mercado para el carbón es Asia, que actualmente representa el 54% del consumo mundial de carbón, aunque es China la principal responsable de ello. Muchos países no cuentan con recursos energéticos naturales suficientes para cubrir sus necesidades energéticas, por lo que deben importar energía. Japón, China Taipei y Corea, por ejemplo, importan cantidades significativas de carbón térmico para la generación de electricidad y carbón de coque para la producción de acero.

No es sólo la falta de carbón autóctono lo que lleva a los países a importar carbón, sino también la importancia de obtener tipos específicos de carbón. Los principales productores de carbón, como China, EEUU e India, por ejemplo, también

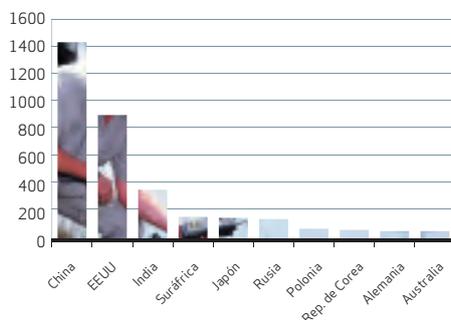
### Los diez países productores más importantes de carbón del mundo, 2003 (Mt)

Fuente: IEA 2004



### Los diez países consumidores más importantes del mundo, 2003 (Mt)

Fuente: IEA 2004



#### Definición

La OECDE es la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Se trata de un grupo de 30 países miembros comprometidos con la democracia y la economía de mercado.

importan grandes cantidades de carbón por razones de calidad y logística.

El carbón seguirá teniendo un papel fundamental en el conjunto energético del planeta, ya que se prevé que la demanda en algunas regiones crezca rápidamente. El crecimiento de los mercados del carbón térmico y de coque será mayor en los países asiáticos en vías de desarrollo, en los que la demanda de electricidad y de acero para la construcción, fabricación de coches y electrodomésticos aumentará al tiempo que aumentan sus ingresos.

### Comercio de carbón

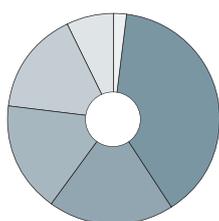
El carbón se comercializa en todo el mundo, transportándolo por mar hasta sus mercados de destino.

Durante los últimos veinte años, el comercio marítimo de carbón térmico ha aumentado un 8% cada año, mientras que el comercio marítimo de carbón de coque ha aumentado un 2% anualmente. El comercio internacional total alcanzó los 718 Mt en 2003; aunque se trata de una cantidad significativa, sólo representa el 18% del carbón total consumido.

Los costes del transporte representan una gran parte del precio total del carbón, por lo que el comercio internacional del carbón térmico se divide en dos grandes zonas: el Atlántico y el Pacífico. El mercado atlántico se compone de los países importadores de Europa Occidental, especialmente Reino Unido, Alemania y España. El mercado del Pacífico incluye a los importadores de países en desarrollo y países asiáticos de la OECDE, principalmente Japón, Corea y China Taipei. El mercado del Pacífico representa actualmente el 60% del tráfico mundial de carbón térmico. Los mercados tienden a solaparse cuando los precios del carbón son altos y hay suficientes recursos. Suráfrica es un punto natural de convergencia entre los dos mercados.



#### Generación total de electricidad en todo el mundo (% por combustible, 2002)

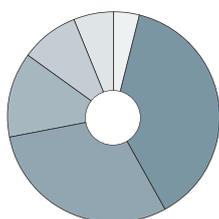


■ Carbón	39%
■ Gas	19%
■ Energía nuclear	17%
■ Energía hidroeléctrica	16%
■ Petróleo	7%
■ Otros*	2%

\* En Otros se incluye la energía solar, eólica, combustibles renovables, energías geotérmicas y procedentes de residuos

Fuente: IEA 2004

#### Generación total de electricidad en todo el mundo (% por combustible, proyectada para 2030)



■ Carbón	38%
■ Gas	30%
■ Energía hidroeléctrica	13%
■ Energía nuclear	9%
■ Otros*	6%
■ Petróleo	4%

\* En Otros se incluye la energía solar, eólica, combustibles renovables, energías geotérmicas y procedentes de residuos

Fuente: IEA 2004

### Seguridad energética

Minimizar los riesgos de interrupciones en el suministro de energía es cada vez más importante, tanto si éstas están causadas por accidentes, intervenciones políticas, terrorismo o disputas industriales. El carbón tiene un papel fundamental en un momento en el que cada vez hay más preocupación por la seguridad energética.

El mercado global del carbón es grande y diverso, con diferentes productores y consumidores en cada continente. El suministro de carbón no llega desde una única zona, lo que haría que los consumidores dependieran de la seguridad del suministro y de la estabilidad en una región concreta. Está distribuido en todo el mundo y el carbón se comercializa internacionalmente.

Muchos países confían en sus suministros nacionales de carbón para cubrir sus necesidades energéticas, como China, EEUU, India, Australia y Sudáfrica. Otros importan carbón desde diferentes continentes: en 2003, Reino Unido, por ejemplo, importó carbón desde Australia, Colombia, Polonia, Rusia, Suráfrica y EEUU, así como cantidades más pequeñas de otros países y de su propio suministro interno.

Por lo tanto, el carbón cumple una misión importante a la hora de mantener la seguridad del conjunto energético del planeta.

- >> Las reservas de carbón son muy extensas y estarán disponibles en el futuro sin que se generen problemas geopolíticos o de seguridad.
- >> El carbón está disponible a partir de diversas fuentes en un mercado mundial con buena capacidad de suministro.
- >> El carbón puede almacenarse fácilmente en las centrales eléctricas y pueden crearse depósitos en caso de emergencia.
- >> La electricidad basada en el carbón no depende de las circunstancias meteorológicas y puede utilizarse como respaldo para la energía eólica e hidroeléctrica.

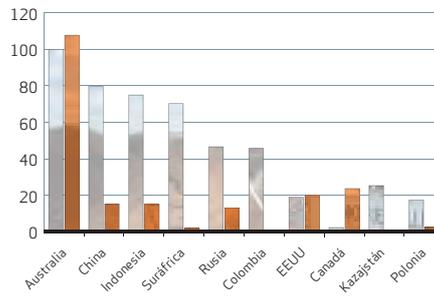
- >> El carbón no necesita conductos de alta presión ni rutas de suministro exclusivas.
- >> Las rutas de suministro de carbón no necesitan ser protegidas con grandes gastos.

Estas características ayudan a facilitar mercados energéticos eficaces y competitivos, y ayudan a estabilizar los precios mediante la competencia entre combustibles.

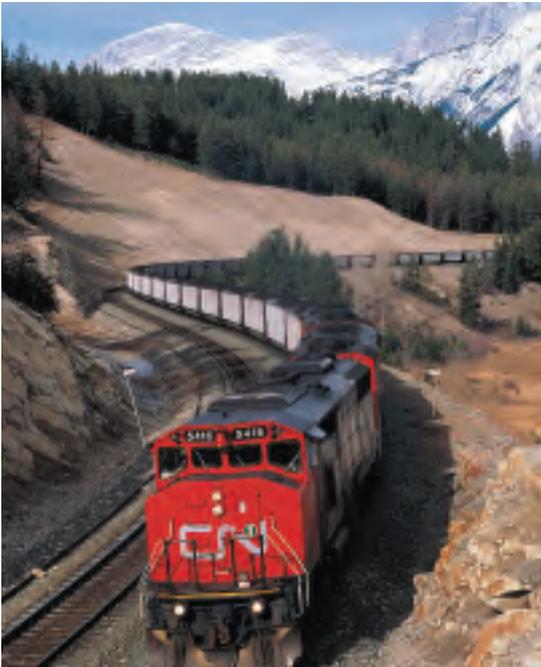
Principales exportadores de carbón, 2003 (Mt)



Fuente: IEA 2004



SECCIÓN TRES FINAL



La minimización del riesgo de corte de nuestros suministros de energía es cada vez más importante. Las rutas de suministro de carbón no necesitan ser protegidas con grandes gastos. Fotografía cedida por cortesía de CN.



El carbón suministra en la actualidad el 39% de la electricidad de todo el mundo. La disponibilidad de un suministro de carbón de bajo coste ha resultado de vital importancia para lograr un alto nivel de electrificación en todo el mundo. Fotografía cedida por cortesía de Vattenfall.

## SECCIÓN CUATRO

# ¿CÓMO SE UTILIZA EL CARBÓN?

>> El carbón tiene muchos usos importantes en todo el mundo. Los usos más importantes son la producción de electricidad, la producción de acero, la fabricación de cemento y otros procesos industriales, así como combustible líquido. >>

## Definición

Energía primaria es toda aquella energía consumida por usuarios finales. Esto incluye la energía utilizada para generar electricidad, aunque la incluya la propia electricidad.

## Historia del uso del carbón

El carbón tiene una historia larga y variada. Algunos historiadores creen que el carbón comenzó a utilizarse comercialmente en China. Hay indicios de una mina situada en el noroeste de China que suministraba carbón para fundiciones de cobre y para la fabricación de monedas hacia el año 1000 AC. Una de las primeras referencias conocidas al carbón fue realizada por el filósofo y científico griego Aristóteles, que hacía referencia a una roca similar al carbón vegetal. Se han encontrado restos de carbón entre las ruinas romanas en Inglaterra, lo que indica que los romanos utilizaban la energía del carbón desde antes del 400 DC. En las crónicas de la Edad Media se habla de la extracción de carbón en Europa, e incluso del comercio internacional desde las costas inglesas hacia Bélgica.

Fue durante la revolución industrial en los siglos XVIII y XIX cuando aumentó la demanda de carbón. Las mejoras en el motor de vapor de James Watt, patentado en 1769, fueron las responsables principales del crecimiento del uso del carbón. La historia de la extracción y el uso del carbón está totalmente vinculada a la de la revolución industrial: la producción de acero, el ferrocarril y los barcos a vapor.

El carbón también se utilizó para producir gas para iluminar muchas ciudades, lo que se denominó el

“gas ciudad”. Este proceso de gasificación vio el crecimiento del uso de la luz de gas en zonas metropolitanas a comienzos del siglo XIX, especialmente en Londres. El uso del gas de carbón en la iluminación de las calles acabó siendo sustituido tras la irrupción de la era industrial.

Con el desarrollo de la energía eléctrica en el siglo XIX, el futuro del carbón fue acercándose a la generación de electricidad. La primera central eléctrica de combustión de carbón real, desarrollada por Thomas Edison, entró en funcionamiento en Nueva York en 1882, proporcionando electricidad a las luces domésticas.

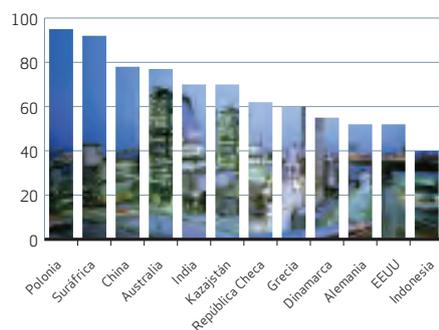
El petróleo sustituyó al carbón como principal fuente de energía primaria en los años 60, con el rápido crecimiento del sector del transporte. El carbón aún sigue siendo fundamental en el conjunto energético del planeta, cubriendo el 23,5% de las necesidades energéticas primarias en 2002, el 39% de la electricidad en todo el mundo, más del doble que la siguiente fuente energética, y un esencial 64% en la producción mundial de acero.

## ¿Cómo se convierte el carbón en electricidad?

La vida moderna no puede imaginarse sin electricidad. Ilumina casas, edificios, calles, proporciona calor doméstico e industrial,

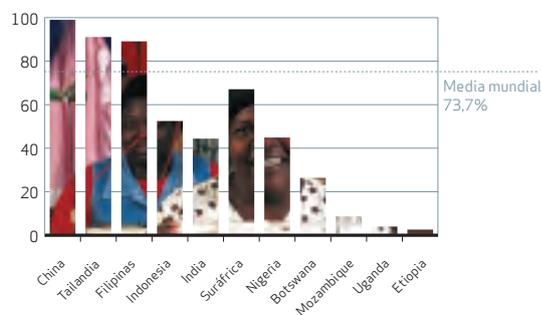
### Porcentaje de electricidad generada a partir del carbón en los países seleccionados (combinación de datos de los años 2003 y 2002)

Fuente: IEA 2004



### Niveles de electrificación para los países seleccionados en vías de desarrollo, 2002 (%)

Fuente: IEA 2004



y alimenta la mayoría de los aparatos utilizados en los hogares, oficinas y máquinas de la industria. Mejorar el acceso a la electricidad en todo el mundo es un factor clave para disminuir la pobreza. Resulta sorprendente pensar que 1.600 millones de personas en todo el mundo, el 27% de la población mundial, no tienen acceso a la electricidad.

El carbón térmico se utiliza en las centrales eléctricas para generar electricidad. Las primeras centrales eléctricas convencionales de combustión de carbón utilizaban carbón grueso, que se quemaba en la parrilla de una caldera para generar vapor. En la actualidad, el carbón se muele primero para conseguir un polvo fino, lo que aumenta el área de superficie, haciendo que se queme más rápidamente. En estos sistemas de combustión de carbón pulverizado (PCC), el carbón en polvo se insufla a la cámara de combustión de una caldera en donde se quema a una alta temperatura. Los gases calientes y la energía calorífica producida convierte el agua, que pasa por unos tubos que rodean la caldera, en vapor.

El vapor de alta presión es conducido hasta la turbina, que contiene miles de aspas tipo propulsor. El vapor presiona estas aspas, haciendo que el eje de la turbina gire a gran velocidad. Hay un generador montado en un extremo del eje de la turbina y consta de varias bobinas de cable. La electricidad se genera cuando estas bobinas giran rápidamente en un campo magnético fuerte. Después de pasar por la turbina, el vapor se condensa y regresa a la caldera para volver a ser calentado (véase el diagrama de la página 21).

La electricidad generada se transforma en tensión alta, hasta 400.000 voltios, y se utiliza para una transmisión económica y eficaz a través de las líneas de alta tensión. Cuando está cerca de llegar al punto de consumo, como nuestros hogares, la electricidad se transforma en sistemas de tensión de entre 100 y 250 voltios, más seguros, que se utilizan en el mercado doméstico.

La moderna tecnología PCC está muy desarrollada y supone más del 90% de la capacidad de combustión de carbón en todo el mundo. Siguen realizándose mejoras en el diseño de centrales eléctricas PCC convencionales y se están desarrollando nuevas técnicas de combustión. Estos desarrollos permiten producir más electricidad a partir de menos cantidad de carbón; a esto se le conoce como mejora de la eficacia térmica de las centrales de polvo de carbón. Puede encontrar información más detallada acerca de estas tecnologías y cómo mejoran el rendimiento medioambiental de las estaciones eléctricas de combustión de carbón en la Sección 5.

### Importancia de la electricidad en todo el mundo

El acceso a la energía, y especialmente a la electricidad, es una fuerza impulsora del desarrollo económico y social. Un acceso fiable y asequible a la electricidad resulta esencial para mejorar la salud pública, proporcionar servicios de información y educación modernos, y evitar que la gente deba dedicarse a trabajos de subsistencia, como conseguir combustible. Cerca de 2.400 millones de personas siguen utilizando los primitivos combustibles de biomasa, como la madera o el estiércol, para cocinar y calentarse. Mejorar el acceso a la electricidad y permitir que la gente no tenga que utilizar el quemado de combustibles en sus casas tendría un enorme impacto sanitario. La Organización Mundial de la Salud ha estimado que el humo producido por el quemado de combustibles sólidos en espacios cerrados es el responsable de 1,6 millones de muertes cada año en los países más pobres del mundo.

Mejorar el acceso a la energía también ayuda al desarrollo económico:

- » Mano de obra que de otro modo estaría buscando combustible puede ser más productiva en el sector de la agricultura o en el

#### Los cinco principales productores de carbón de coque (Mt)

China	159
Australia	112
Rusia	55
EEUU	40
Canadá	23

Fuente: IEA 2004

#### Producción mundial de acero (Mt)

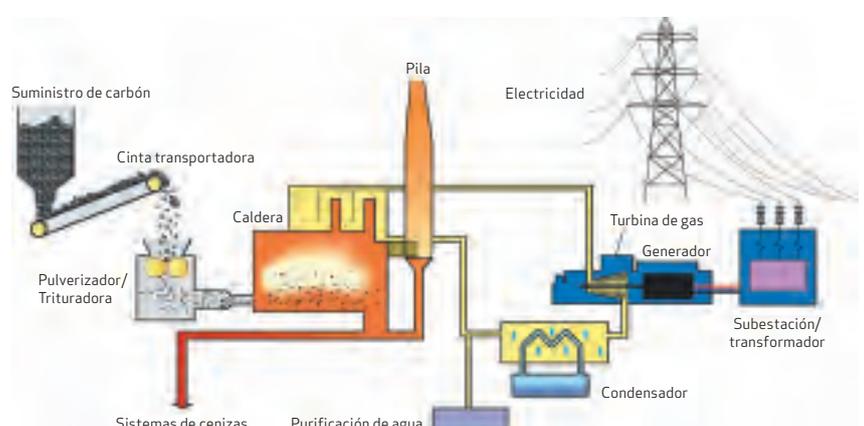
1970	595
1975	644
1980	717
1985	719
1990	770
1995	752
1996	750
1997	799
1998	777
1999	789
2000	848
2001	850
2002	902
2003	965

Fuente: IISI

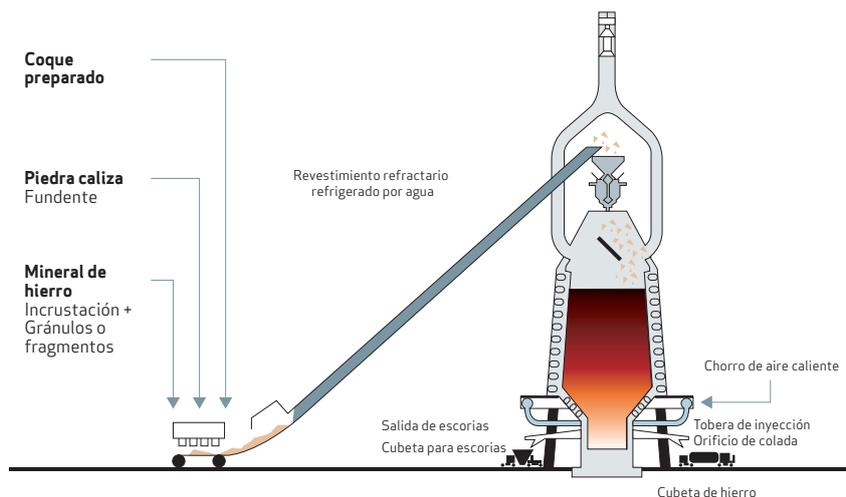
de la industria. Esto aumenta el nivel de ingresos familiares, la cantidad de mano de obra y la capacidad productiva de las economías en desarrollo.

- » La recogida intensiva de biomasa como combustible doméstico degrada la productividad de la tierra agrícola en muchos casos, debido a la desertización (al talar árboles) o al privar al suelo de nutrientes (al recoger el estiércol animal).
- » La combustión ineficaz de combustibles no convencionales, especialmente en casas sin chimeneas, crea complicaciones sanitarias. El acercar las fuentes de energía modernas, como la electricidad, a los hogares, mejora la salud y la productividad.
- » La provisión de electricidad doméstica para el uso de electrodomésticos modernos, como lavadoras, e iluminación, mejora la productividad del trabajo doméstico y el aumento del tiempo libre.

#### Conversión de carbón en electricidad



### Uso del carbón en la producción de acero



El carbón suministra en la actualidad el 39% de la electricidad de todo el mundo. En muchos países, este papel es mucho más relevante. La posibilidad de un suministro de bajo coste de carbón en los países desarrollados y en los que están en vías de desarrollo ha sido vital para lograr unos niveles altos de electrificación. En China, por ejemplo, 700 millones de personas se han conectado a la red eléctrica durante los últimos 15 años. El país está ahora electrificado en 99%, siendo el 77% de esta electricidad producida en centrales eléctricas de combustión de carbón.

### El carbón en la producción de hierro y acero

El acero resulta esencial en la vida diaria: coches, trenes, edificios, barcos, puentes, neveras, equipos médicos, son ejemplos de productos fabricados en acero. Resulta vital para las máquinas que crean casi todos los productos que utilizamos en la actualidad.

El carbón es esencial para la producción de hierro y acero; cerca del 64% de la producción de acero en todo el mundo proviene del hierro fundido en altos hornos que utilizan carbón. La producción

mundial de acero en crudo fue de 965 millones de toneladas en 2003, utilizando cerca de 543 Mt de carbón.

### Materias primas

En los altos hornos se utiliza mineral de hierro, coque (extraído de los carbones de coque) y pequeñas cantidades de piedra caliza. Algunos hornos utilizan carbón térmico, más barato, conocido como carbón pulverizado (PCI), con el objetivo de reducir costes.

El mineral de hierro es un mineral que contiene óxidos de hierro. El mineral comercial suele tener un contenido de hierro, como mínimo, del 58%. El mineral de hierro se extrae en unos 50 países; los siete productores principales suponen el 75% de la producción mundial. Cerca del 98% del mineral de hierro se utiliza en la producción de acero.

El coque se crea a partir de los carbones de coque, que tienen ciertas propiedades físicas que hacen que se ablanden, se licuen y después se vuelvan a solidificar en fragmentos duros pero porosos cuando se calientan en ausencia de aire. Los

carbones de coque deben tener también un bajo nivel de azufre y fósforo, al ser relativamente escasos, son más caros que los carbones térmicos utilizados para la generación de electricidad.

El carbón de coque se tritura y se lava. En ese momento se “purifica” o “carbonifica” en una serie de hornos de coque, conocidos como baterías. Durante este proceso, los productos derivados se eliminan y se produce el coque.

#### Altos hornos

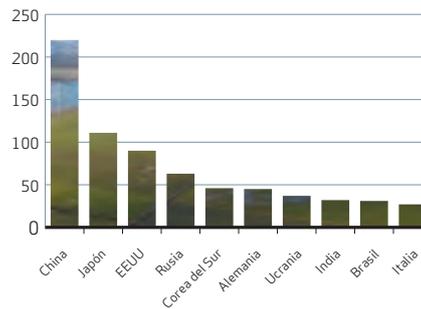
Las materias primas: el mineral de hierro, el coque y los fundentes (minerales como la piedra caliza que se utilizan para recoger las impurezas), se introducen en la parte superior del alto horno. El aire se calienta a unos 1.200°C y se introduce en la chimenea a través de las toberas de la sección inferior. El aire hace que el coque se quemara produciendo monóxido de carbono, lo que desencadena la reacción química. El mineral de hierro se reduce a hierro fundido al eliminar el oxígeno. Una compuerta situada en la parte inferior de la chimenea se abre periódicamente para retirar el hierro fundido y la escoria.

Se conduce a un horno de oxígeno básico (BOF) donde se añade escoria de acero y más piedra caliza, añadiendo también oxígeno puro al 99% a la mezcla. La reacción con el oxígeno eleva la temperatura hasta los 1.700°C, oxida las impurezas y deja salir acero líquido casi puro. 0,63 toneladas (630 kg) de coque producen 1 tonelada (1.000 kg) de acero.

Los hornos de oxígeno básico producen actualmente el 64% del acero consumido en todo el mundo. Otro 33% del acero se produce en hornos de arco eléctrico (EAF). Los EAFs se utilizan para producir acero a partir de metal reutilizado. Si el acero está disponible, este método es más barato que el del horno tradicional. El horno de arco eléctrico se carga con hierro y escoria de acero. Hay unos electrodos en el horno y cuando se activan

#### Los diez principales países productores de acero, 2003 (Mt)

Fuente: IISI



producen un arco de electricidad. La energía del arco eleva la temperatura hasta 1.600°C, fundiendo la escoria y produciendo acero fundido. La mayoría de la electricidad utilizada en un EAF proviene del carbón.

El desarrollo de la industria del acero ha permitido utilizar la tecnología de “inyección de carbón pulverizado”. Esto permite la inyección directa de carbón en el alto horno. Pueden utilizarse diferentes carbones en el PCI, incluyendo carbón térmico.

El acero es 100% reciclable, con unos 383 Mt de acero reciclado utilizado en 2003 y cerca de 400 Mt en 2004. El proceso BOF utiliza hasta un 30% de acero reciclado y cerca del 90-100% se utiliza en la producción de EAF. Los subproductos del hierro y el acero también pueden reciclarse, por ejemplo, las escorias pueden solidificarse, triturarse y usarse en combinados minerales, carreteras y cemento.

### Licuefacción del carbón

En varios países el carbón se convierte en un combustible líquido, a este proceso se le denomina licuefacción. El combustible líquido puede refinarse para producir combustible de transporte y otros productos derivados del petróleo, como plásticos y disolventes. Existen dos métodos principales de licuefacción:

- >> la licuefacción directa de carbón: en la que el carbón se convierte en combustible líquido en un único proceso;
- >> la licuefacción indirecta de carbón: en la que el carbón primero se gasifica y después se convierte en líquido.

De este modo, el carbón puede actuar como sustituto del petróleo, un valor importante en un mundo cada vez más preocupado con la seguridad energética. La rentabilidad de la licuefacción del carbón depende en gran medida del precio del petróleo, con el que, en una economía abierta de mercado, debe competir. Si el precio del petróleo es alto, la licuefacción pasa a ser competitiva.

Ha habido algunos ejemplos en el pasado en los que la ausencia en un país de fuentes fiables y seguras de petróleo han forzado la producción a gran escala de combustibles líquidos derivados del carbón. Alemania produjo grandes cantidades de combustibles derivados del carbón durante la Segunda Guerra Mundial, igual que Sudáfrica entre los años 50 y 80. Sudáfrica sigue produciendo a gran escala combustibles líquidos en la actualidad.

El único proceso de licuefacción comercial de carbón el funcionamiento en todo el mundo es el proceso Sasol indirecto (Fischer-Tropsch). Suráfrica es el líder mundial en tecnologías de licuefacción de carbón. Es el país que más ha invertido en investigación y desarrollo de estas técnicas y actualmente suministra un tercio de sus necesidades nacionales de combustible líquido a partir del carbón. China también está experimentando un crecimiento de la licuefacción

de carbón como forma de utilizar las enormes reservas del país y reducir la dependencia del petróleo importado.

### Carbón y cemento

El cemento es un elemento fundamental en la industria de la construcción. Mezclado con agua y grava forma el hormigón, el elemento básico de construcción en la sociedad moderna. Se producen más de 1.350 millones de toneladas de cemento cada año.

El cemento se logra mediante una mezcla de carbonato cálcico (generalmente piedra caliza), silicio, óxido férrico y alumina. Un horno de alta temperatura, normalmente alimentado con carbón, calienta las materias primas hasta su fundición parcial a 1.450°C, transformándolas química y físicamente en una sustancia denominada "clinker". Este material gris en forma de guijarro consta de compuestos especiales que confieren al cemento su capacidad de unión. El clinker se mezcla con yeso y tierra hasta formar un polvo fino para producir cemento.

El carbón se utiliza como fuente de energía para la producción de cemento. Se necesitan grandes cantidades de energía para producir cemento. Los hornos suelen quemar carbón en forma de polvo y consumen unos 450 g de carbón por cada 900 g de cemento producido. El carbón seguirá siendo un factor importante para la producción de cemento en los próximos años.

Los productos de combustión del carbón (CCP) también juegan un papel importante en la producción de cemento. Los CCP son los subproductos generados al quemar carbón en las centrales eléctricas de combustión de carbón. Estos subproductos incluyen cenizas en suspensión, cenizas de suelo, escoria de caldera y yeso de desulfurización de gases. Las cenizas en suspensión, por ejemplo, pueden utilizarse para sustituir o complementar al cemento en el hormigón. El reciclaje de los productos derivados

de la combustión del carbón resultan beneficiosos para el medio ambiente, ya que sirven para sustituir materias primas primarias.

### Otros usos del carbón

Otros usuarios importantes del carbón son las refinerías de alumina, los fabricantes de papel y las industrias químicas y farmacéuticas. Algunos productos químicos pueden producirse a partir de subproductos del carbón. La masa de carbón refinada se utiliza en la fabricación de productos químicos, 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. Miles de productos diferentes tienen al carbón o alguno de sus subproductos como componentes: jabón, aspirinas, disolventes, tintes, plásticos y fibras, como el rayón y el nailon.

El carbón también es parte esencial de la producción de productos especializados:

- >> Carbono activo: utilizado en filtros de agua y aire, así como en máquinas de diálisis.
- >> Fibra de carbono: un material de refuerzo extremadamente resistente y ligero utilizado en construcción, bicicletas de montaña y raquetas de tenis.
- >> Metal de silicio: utilizado para fabricar silicios y silanos, que a su vez se utilizan para la fabricación de lubricantes, repelentes de agua, resinas, cosméticos, champú y pasta de dientes.



Siguen desarrollándose tecnologías para mejorar el rendimiento medioambiental de las centrales eléctricas alimentadas con carbón: la central eléctrica alimentada con carbón de Nordjyllandsværket, Dinamarca, tiene un nivel de eficacia del 47%. Fotografía cedida por cortesía de Elsam. Fotógrafo: Gert Jensen.



La mina de carbón de Ulan, Australia, dispone del innovador sistema de irrigación Bobadeen, que utiliza el agua sobrante de la mina para regar 242 hectáreas de terreno con pastos perennes y que se mantiene a un nivel óptimo gracias al ganado vacuno. Fotografía cedida por cortesía de Xstrata Coal.

## SECCIÓN CINCO

# EL CARBÓN Y EL MEDIO AMBIENTE

» Nuestro consumo de energía puede tener un impacto significativo en el medio ambiente. Minimizar el impacto negativo de las actividades humanas en el medio ambiente, incluyendo el uso de energía, es una prioridad global. »

No obstante, es importante equilibrar la preocupación por el medio ambiente con las prioridades de desarrollo económico y social. El “desarrollo sostenible” aglutina las tres áreas y se define como “...el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en riesgo la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”.

Puesto que el carbón realiza una importante contribución al desarrollo económico y social de todo el mundo, su impacto medioambiental ha supuesto todo un desafío.

## Extracción de carbón y medio ambiente

La extracción de carbón, especialmente la extracción en superficie, requiere la conversión provisional de grandes zonas de suelo. Esto crea diferentes desafíos medioambientales, incluyendo la erosión del suelo, ruido y polución del agua, así como impactos en la biodiversidad. Se han tomado medidas en las explotaciones modernas para minimizar estos impactos. Una buena planificación y gestión medioambiental minimiza el impacto de la minería en el entorno y ayuda a conservar la biodiversidad.

### Alteraciones terrestres

Durante los últimos años se llevan a cabo estudios sobre el entorno antes de iniciar una explotación minera para definir las condiciones existentes e

identificar problemas potenciales. Los estudios se centran en el impacto de la explotación en la superficie y en el agua, en los suelos, en el uso local de la tierra y en las poblaciones nativas de vegetación y fauna (véase el estudio sobre los koalas en la página 30). Se realizan simulaciones informáticas para crear modelos de impacto medioambiental en la zona. Las conclusiones se revisan como parte del proceso que lleva a otorgar el permiso de explotación por parte de las autoridades competentes.

### Hundimiento de explotaciones

Un problema que puede asociarse a la extracción de carbón subterránea son los hundimientos, en los que el nivel del suelo baja como resultado de la extracción realizada en el subsuelo. Cualquier actividad de uso de la tierra que pueda poner en riesgo una propiedad pública o privada supone una preocupación.

Un conocimiento exhaustivo de los patrones de subsistencia en una zona concreta permite cuantificar los efectos de una explotación subterránea en la superficie. Esto asegura la recuperación máxima y segura de un yacimiento, al mismo tiempo que proporciona protección para el resto de usos del suelo.

### Polución del agua

El drenaje de ácidos de la mina (AMD) es agua rica



La mina de Moura fue la primera operación en Australia con el objetivo de establecer un negocio de metano junto a la explotación minera. El proyecto tiene el potencial para lograr un ahorro de emisiones global de gases de efecto invernadero equivalente a 2,8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. Fotografía cedida por cortesía de Anglo Coal Australia.

en metales formada a partir de la reacción química producida entre el agua y las rocas que contienen minerales con azufre. El flujo formado suele ser ácido y proviene de zonas en las que las actividades de extracción de carbón o de mineral de hierro están expuestas a rocas que contienen pirita, un mineral cargado de azufre. No obstante, esta situación también se puede dar en zonas mineralizadas no explotadas.

El AMD se forma cuando la pirita reacciona con el aire y el agua para formar hierro disuelto y ácido sulfúrico. Este flujo de ácido disuelve los metales pesados como el cobre, el plomo y el mercurio en la tierra y las aguas de superficie.

Existen métodos de extracción que pueden minimizar este problema, y un diseño eficaz de la explotación puede mantener alejada el agua de los materiales generadores de ácido y ayudar a evitar este fenómeno. El AMD puede tratarse de forma activa o pasiva. El tratamiento activo implica la instalación de una planta de tratamiento de agua, donde el AMD se mezcla con cal para neutralizar el ácido y después pasa a través de unos depósitos de estancamiento para eliminar los sedimentos y las partículas. El tratamiento pasivo pretende desarrollar un sistema autofuncional que pueda tratar el flujo sin una intervención humana constante.

### Polvo y contaminación acústica

Durante las operaciones de extracción, el impacto del aire y del ruido en los trabajadores y en las comunidades locales puede minimizarse mediante modernas técnicas de extracción y equipos especializados. El polvo puede estar causado por los camiones circulando por caminos no sellados, operaciones de trituración del carbón, perforaciones y el paso del viento por la zona del yacimiento.

Los niveles de polvo pueden controlarse mediante la pulverización de agua en los caminos, pilas de escombros y cintas transportadoras. Se pueden tomar otras medidas, como realizar perforaciones con sistemas de recogida del polvo y adquirir las tierras adyacentes para que actúen como barrera entre la explotación y sus vecinos. Plantar árboles en estas zonas de barrera también puede minimizar el impacto visual de las operaciones de extracción para las comunidades locales. El ruido puede ser controlado mediante la selección cuidadosa del equipo y el aislamiento acústico de las máquinas. En los mejores casos, las explotaciones cuentan con sistemas de control de ruido y vibración, para que los niveles de ruido puedan medirse y garantizar que la mina se encuentra dentro de los límites especificados.

### Rehabilitación

La extracción de carbón es siempre de carácter temporal, por lo que resulta vital que la rehabilitación de la tierra tenga lugar después de finalizar las operaciones de extracción. En una práctica adecuada, debe diseñarse y autorizarse un plan de rehabilitación y reclamación de los terrenos para cada explotación minera, que cubriría el periodo que va desde el inicio de las operaciones hasta la finalización de las mismas. La reclamación de los terrenos es una parte integral de las operaciones de extracción minera actuales en todo el mundo, y los costes de la rehabilitación forman parte de los costes de operación de la explotación.

Las actividades de reclamación de la explotación se llevan a cabo gradualmente: conformación de las pilas de escombros, restitución del suelo superior, siembra de plantas y árboles en las zonas donde ha finalizado la explotación. Debe prestarse atención a la reubicación de arroyos, fauna y otros recursos valiosos.

La tierra reclamada puede tener muchos usos, incluyendo la agricultura, explotación forestal, espacio protegido y de recreo.

#### Uso del metano procedente de las explotaciones de carbón

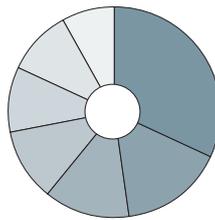
El metano ( $\text{CH}_4$ ) es un gas formado durante el proceso de formación del carbón. Se libera en la veta de carbón y en el resto de estratos circundantes durante las operaciones de extracción.

El metano es un potente gas de efecto invernadero, se estima que supone el 18% de las emisiones de efecto invernadero producidas por actividades humanas (se estima que el  $\text{CO}_2$  contribuye con el 50%). Aunque el carbón no es la única fuente de emisiones de metano — la producción de arroz y otras actividades agrícolas son importantes emisores — el metano procedente del carbón puede ser utilizado en lugar de liberarse a la atmósfera con un significativo impacto medioambiental.

El metano de las explotaciones de carbón (CMM) es metano liberado por las vetas de carbón durante su extracción. El metano carbonífero (CBM) es metano atrapado en el interior de las vetas de carbón no explotadas.

El metano es altamente explosivo y debe purgarse durante las operaciones de extracción para mantener la seguridad en el trabajo de extracción. En las explotaciones subterráneas activas, unos enormes sistemas de ventilación desplazan grandes cantidades de aire a través de la mina, manteniéndola segura, aunque liberando también

#### Principales fuentes de emisiones de metano



■ Ganado	32%
■ Petróleo y gas natural	16%
■ Residuos sólidos	13%
■ Arroz	11%
■ Aguas residuales	10%
■ Otros	10%
■ Carbón	8%

Fuente: US EPA

metano a la atmósfera en concentraciones muy bajas. Algunas explotaciones activas y abandonadas producen metano mediante sistemas de degasificación, también conocidos como sistemas de drenaje de gas, que utilizan pozos para recuperar el metano.

Al mismo tiempo que mejora la seguridad en las explotaciones de carbón, el uso del CMM mejora el rendimiento medioambiental del funcionamiento de las minas de carbón y puede proporcionar un beneficio comercial. El metano de las minas de carbón tiene diferentes usos, incluyendo la producción de electricidad, su uso en procesos industriales y como combustible para calderas de combustión de carbón.

El metano carbonífero puede extraerse perforando y fracturando mecánicamente las vetas de carbón no extraído. Mientras se utiliza el CBM, el carbón no se extrae.

#### Uso del carbón y medio ambiente

El consumo global de energía provoca diferentes problemas medioambientales. En el caso del carbón, la liberación de contaminantes, como óxidos de azufre y nitrógeno ( $\text{SO}_x$  y  $\text{NO}_x$ ), y diferentes partículas de elementos pesados, como el mercurio, ha supuesto un desafío. Se han desarrollado e incorporado tecnologías para minimizar estas emisiones.



## GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL

# KOALA VENTURE

La gestión y rehabilitación de las minas de carbón no significa simplemente proyectar la vegetación natural, también incluye proteger la vida salvaje de la explotación. En la mina a cielo abierto de Blair Athol, en Queensland, Australia, esto significa cuidar a la población nativa de koalas.

El proyecto Koala Venture realizado entre Río Tinto Coal Australia, gestores de la explotación, y la Universidad de Queensland comenzó cuando la dirección de la explotación se comunicó con la universidad para que les ayudase a minimizar el impacto de sus operaciones de extracción en la colonia de koalas de la zona.

El proyecto pretende controlar la población de koalas y su seguridad en

la mina de Blair Athol y en las zonas adyacentes. Los hábitos de alimentación y de ubicación de los koalas son controlados para mejorar las prácticas de rehabilitación, mientras que se estudia su salud y estado reproductor para garantizar que la población de koalas se mantiene.

Para avanzar las operaciones en la explotación a cielo abierto, debe eliminarse parte de la vegetación que sirve de refugio al koala. Se utilizó un procedimiento de talado de árboles de dos fases para minimizar el problema de los koalas. Este proceso supone dejar algunos de los árboles utilizados por los koalas durante unos meses, mientras se elimina el resto. Los estudios han demostrado que los koalas tienden voluntariamente a

desplazarse a las zonas rehabilitadas donde se encuentran sus árboles favoritos o a las zonas próximas que no han sido taladas.

El Koala Venture es el primer estudio realizado sobre la reproducción y distribución de koalas utilizando pruebas de ADN, y ha supuesto todo un avance a la hora de comprender el funcionamiento reproductivo de estos animales.

La información obtenida en la mina de Blair Athol se ha incorporado a la Estrategia nacional para la conservación del koala en Australia.

Puede encontrar más información sobre el programa Koala Venture en [www.koalaventure.com](http://www.koalaventure.com)

Un desafío más reciente han sido las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera debido a actividades humanas, a menudo denominadas emisiones antropogénicas, se ha relacionado con el calentamiento global. La combustión de combustibles fósiles es la fuente principal de emisiones antropogénicas en todo el mundo. Aunque el uso del petróleo en el sector del transporte es la mayor fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía, el carbón también es una fuente significativa. Como resultado, la industria ha estado investigando y desarrollando diferentes opciones tecnológicas para dar respuesta a este nuevo desafío medioambiental.

### Respuesta tecnológica

Las tecnologías limpias del carbón (CCT) son toda una gama de opciones tecnológicas que mejoran el rendimiento medioambiental del carbón. Estas tecnologías reducen las emisiones y los residuos, mientras que aumentan la cantidad de energía obtenida por cada tonelada de carbón.

Existen diferentes tecnologías para cada tipo de carbón y abordan diferentes problemas medioambientales. La selección de tecnologías también puede depender del nivel de desarrollo económico de un país. Las tecnologías más avanzadas y caras pueden que no sean las más adecuadas en los países en desarrollo, por ejemplo, ya que existen opciones disponibles más baratas que pueden suponer un beneficio medioambiental más asequible.

### Reducción en las emisiones de partículas

Las emisiones de partículas, como la ceniza, ha sido uno de los efectos colaterales más visibles de la combustión de carbón en el pasado. Pueden afectar a la visibilidad en la zona, provocar problemas de polvo y afectar a los sistemas respiratorios de la gente. Existen tecnologías para reducir y, en algunos casos, casi eliminar las emisiones de partículas.

### Limpieza del carbón

La limpieza del carbón, también denominada preparación del carbón, aumenta el valor térmico y la calidad del carbón reduciendo los niveles de azufre y de materias minerales (véase la Sección 2 para obtener una descripción de las técnicas de preparación del carbón). El contenido de cenizas del carbón puede reducirse en más de un 50%, ayudando a reducir los residuos de la combustión del carbón. Esto resulta especialmente importante en aquellos países en los que el carbón se transporta a la larga de grandes distancias antes de su uso, ya que mejora el rendimiento del transporte al eliminar la mayoría del material no combustible. La limpieza del carbón también ayuda a mejorar la eficacia de las centrales eléctricas de combustión de carbón, lo que lleva a una reducción en las emisiones de dióxido de carbono.

### Precipitadores electrostáticos y Filtros de tejido

Las partículas resultantes de la combustión de carbón pueden controlarse mediante precipitadores electrostáticos (ESP) y filtros de tejido. Entre ambos se puede llegar a eliminar el 99,5% de las emisiones de partículas y se aplican ampliamente tanto en los países desarrollados como en los que se encuentran en vías de desarrollo. Los precipitadores electrostáticos, los gases cargados con partículas pasan entre varias bandejas de recogida, donde un campo eléctrico crea una carga en las partículas. Esto atrae las partículas hacia las bandejas de recogida, donde se acumulan y desde las que se pueden eliminar.

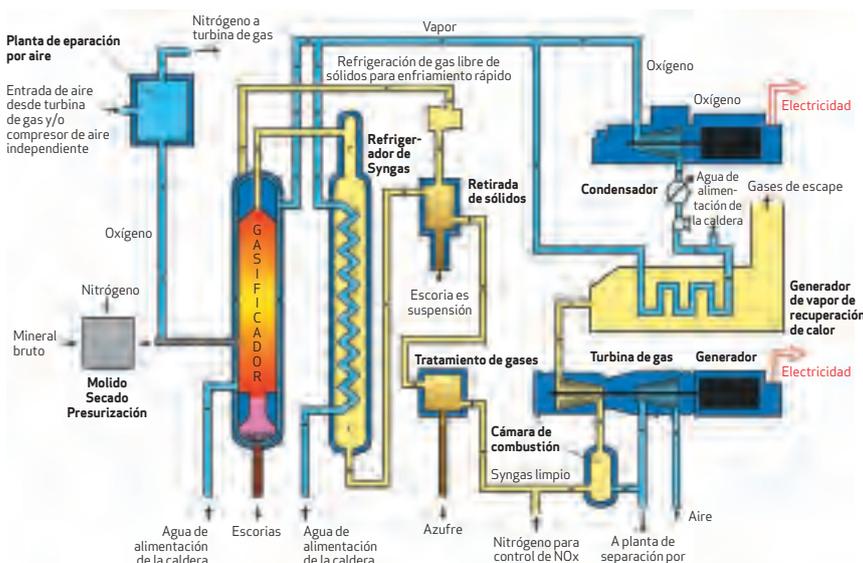
Los filtros de tejido, también conocidos como "cámaras de sacos", suponen un enfoque alternativo y recogen las partículas de los gases de las chimeneas mediante un tamiz de tejido ligero.

El uso de equipos de control de partículas tiene un gran impacto en el rendimiento medioambiental de las centrales eléctricas de combustión de carbón. En la central eléctrica de Lethabo, Sudáfrica, los precipitadores electrostáticos eliminan el 99,8% de las cenizas en suspensión, parte de las cuales se

#### Definición

El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e incombustible que se forma durante la descomposición, combustión y respiración.

### Una unidad integrada de ciclo combinado de gasificación



venden para la industria del cemento. Para Eskom, el operador de la planta, el uso de ESP ha supuesto un impacto importante en el rendimiento medioambiental de sus centrales eléctricas. Entre 1988 y 2003, se redujeron las emisiones de partículas en casi un 85%, mientras que se producía un incremento en la electricidad generada en más de un 56%.

### Cómo prevenir la lluvia ácida

La lluvia ácida llamó la atención de todo el mundo durante la última parte del pasado siglo, cuando se descubrió la acidificación de los lagos y los daños en los bosques europeos y norteamericanos.

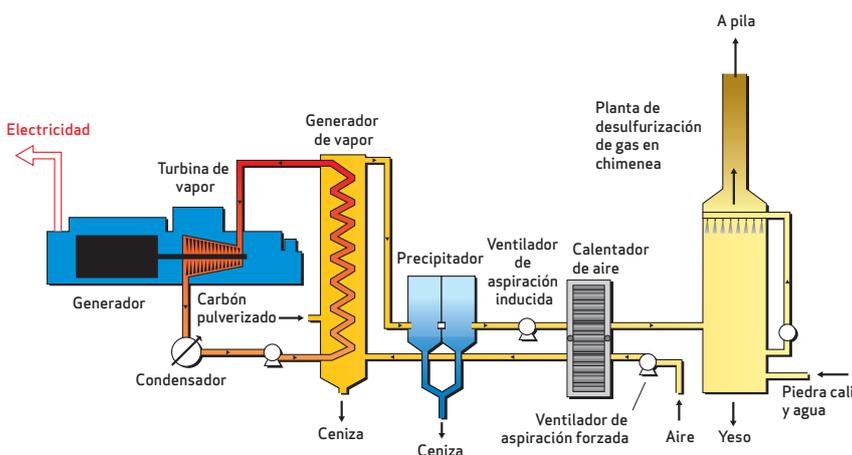
La lluvia ácida se atribuyó a diferentes factores, incluyendo el drenaje de ácidos en las zonas deforestadas y las emisiones de combustibles fósiles en el transporte y centrales eléctricas.

Los óxidos de sulfuro (SO<sub>x</sub>) y nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se emiten a diferentes niveles durante la combustión de los combustibles fósiles. Estos gases reaccionan químicamente con el vapor de agua y otras sustancias en la atmósfera para formar ácidos, que se depositan posteriormente en la lluvia.

Se han tomado medidas para reducir significativamente las emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> desde las centrales eléctricas de combustión de carbón. Ciertos enfoques también tienen la ventaja adicional de reducir otras emisiones, como las de mercurio.

El azufre está presente en el carbón en forma de impureza y reacción con el aire cuando el carbón se quema hasta formar SO<sub>x</sub>. Por el contrario, el NO<sub>x</sub> se forma cuando se quema cualquier combustible fósil. En muchas circunstancias, el uso de carbón con bajo contenido en azufre es la forma más económica de controlar las emisiones de dióxidos sulfúricos. Un enfoque alternativo es el desarrollo de sistemas desulfurización de gases (FGD) para su uso en centrales eléctricas de combustión de carbón.

### Un sistema de desulfurización de gases de chimenea



Los sistemas FGD también reciben el nombre de “depuradoras” y pueden eliminar hasta el 99% de las emisiones de SOx. En EEUU, por ejemplo, las emisiones de azufre de las centrales eléctricas de combustión de carbón disminuyeron un 61% entre 1980 y 2000, a pesar de que el uso de carbón aumentó un 74%.

Los óxidos de nitrógeno pueden contribuir al desarrollo de nieblas de humo y de lluvia ácida. Las emisiones de NOx derivadas de la combustión de carbón pueden reducirse mediante el uso de quemadores de “NOx bajo”, mejorando el diseño de los quemadores y aplicando tecnologías de tratamiento de NOx en el conductor de gases de escape. Las tecnologías de reducción catalítica selectiva (SCR) y de reducción no catalítica selectiva (SNCR) pueden reducir las emisiones de NOx sobre un 80-90% mediante el tratamiento de la post-combustión del NOx.

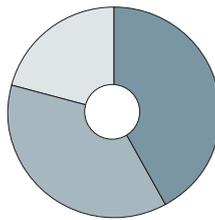
La combustión de material licuado (FBC) es un enfoque tecnológico avanzado de alta eficacia para la reducción de las emisiones de NOx y SOx. El sistema FBC es capaz de lograr reducciones del 90% o superiores. En los sistemas FBC, el carbón se quema sobre una base de partículas calentadas suspendidas en el aire. Al altas velocidades del aire, la base actúa como un líquido, dando como resultado la mezcla rápida de las partículas. La acción de licuado permite una combustión completa del carbón a una temperaturas relativamente bajas.

### Reducción de las emisiones de dióxido de carbono

Uno de los mayores desafíos medioambientales a los que se enfrenta el mundo actualmente es el riesgo del “calentamiento global”.

Los gases naturales de la atmósfera ayudan a regular la temperatura de la tierra atrapando otras radiaciones, a esto se le conoce como el efecto invernadero (véase el diagrama de la página 36). Las actividades humanas, como la combustión de

#### Emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de combustibles fósiles



■ Petróleo	41%
■ Carbón	38%
■ Gas	21%

Fuente: IEA 2004

combustibles fósiles, producen gases de efecto invernadero adicionales (GHG), que se acumulan en la atmósfera. Los científicos opinan que la acumulación de estos gases está provocando un mayor efecto invernadero, lo que puede provocar un calentamiento global y un cambio climático.

Los principales gases causantes del efecto invernadero son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, los hidrofluorocarburos, los perfluorocarburos y el hexafluoruro sulfúrico.

El carbón es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por actividades humanas y el sector está comprometido a minimizar estas emisiones.

Los gases de efecto invernadero asociados al carbón son el metano, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). El metano se libera desde las explotaciones de carbón (véase la sección anterior). El CO<sub>2</sub> y el N<sub>2</sub>O se liberan cuando se utiliza el carbón para la generación de electricidad o en los procesos industriales, como en la producción de acero y de cemento.

#### Eficacia de la combustión

Un paso importante en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la combustión del carbón es la mejora en la eficacia térmica de las centrales eléctricas de combustión de carbón. La eficacia térmica es una medida de eficacia de conversión del combustible para los procesos de generación

de electricidad. Cuanto mayores sean los niveles de eficacia, mayor será la energía producida a partir del combustible.

La eficacia térmica global media de las centrales eléctricas de combustión de carbón se sitúa alrededor del 30%, mientras que la media de la OECD se encuentra sobre el 38%. En comparación, el nivel de eficacia térmica en China es del 27% (a pesar de que se han creado nuevas centrales con mejoras significativas).

Las nuevas tecnologías “supercríticas” permiten que las centrales eléctricas de combustión de carbón alcancen rendimientos térmicos totales del 43-45%. Estos niveles superiores son posibles gracias a que la planta supercrítica trabaja con temperaturas y presiones de vapor superiores que los de una planta convencional. Las plantas ultrasuper-críticas pueden lograr niveles de rendimiento superiores al 50% trabajando con temperaturas y presiones aún más altas. Existen más de 400 plantas supercríticas en todo el mundo, incluyendo algunas en los países en vías de desarrollo.

Otra alternativa es producir gas a partir del carbón: esto se consigue mediante sistemas de ciclo combinado integrado de gasificación (IGCC).

En IGCC, el carbón no se quema directamente sino que se hace reaccionar con oxígeno y vapor para producir un “syngas” compuesto principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono. Este syngas se limpia de impurezas y se quema en una turbina de gas para generar electricidad y producir vapor para un sistema de ciclo de alimentación mediante vapor.

Los sistemas IGCC tienen altos rendimientos, cercanos al 45%, aunque en algunas plantas se puede lograr hasta un 50% de eficacia. También eliminan el 95-99% de las emisiones de NOx y SOx. Se están llevando a cabo trabajos para obtener mayores niveles de rendimiento, con el objetivo de lograr rendimientos netos del 56% en el futuro. Existen cerca de 160 plantas de IGCC en todo el mundo.

Los sistemas IGCC también ofrecen un potencial futuro para la producción de hidrógeno relacionada con las tecnologías de captura y almacenamiento del carbono (descritas en profundidad en la siguiente sección).

### Captura y almacenamiento de carbono

Un factor importante en el uso futuro del carbón será el nivel al que puedan reducirse las emisiones de CO<sub>2</sub>. Se ha avanzado mucho en este campo, así

## La ruta calentada por carbón para reducciones de CO<sub>2</sub>

### Hasta un 5% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

#### Mejora del carbón

Incluye el lavado/secado y aglomerado del carbón. Uso extendido en todo el mundo.

### Hasta un 22% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

#### Mejoras de eficacia en la planta existente

La generación convencional subcrítica calentada por carbón ha mejorado significativamente su eficacia (38-40%), reduciendo así las emisiones. La planta supercrítica y ultrasuper-crítica ofrece eficacias aún mayores (hasta un 45%). Mejora en el funcionamiento de la planta subcrítica en todo el mundo. Planta supercrítica y ultrasuper-crítica funcionando con éxito en Japón, EEUU, Europa, Rusia y China.

### Hasta un 25% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

#### Tecnologías avanzadas

Niveles de eficacia muy altos y bajo nivel de emisiones gracias a tecnologías innovadoras como el ciclo combinado de gasificación integrado (IGCC), combustión de líquidos presurizada (PFBC) y, en el futuro, celdas de combustible de gasificación integrada (IGFC). IGCC y PFBC operativos en EEUU, Japón y Europa; IGFC en fase de investigación.

### Hasta un 99% de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

#### Cero emisiones

Captura y almacenamiento de carbono. Un esfuerzo investigador internacional significativo. El proyecto FutureGen pretende disponer de una planta de prueba antes de 10 años.

como en la mejora de los niveles de rendimiento. Una de las opciones más prometedoras para el futuro es la captura y almacenamiento de carbono (CCS).

Las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono permiten que las emisiones de dióxido de carbono puedan eliminarse de las salidas de escape de la combustión o gasificación del carbón, y que puedan tratarse de tal modo que no acaben en la atmósfera. Las tecnologías que permiten que el CO<sub>2</sub> sea capturado en los flujos de emisión ya han sido utilizadas durante muchos años para producir CO<sub>2</sub> para el procesamiento de alimentos y en la industria química. Las empresas petrolíferas a menudo separan el CO<sub>2</sub> del gas natural antes de transportarlo a los mercados por conductos. Algunas incluso han comenzado a almacenar de forma permanente CO<sub>2</sub> en el subsuelo, en acuíferos salinos.

Aunque aún es necesario un mayor avance para demostrar la viabilidad de la separación del CO<sub>2</sub> de las centrales eléctricas de combustión de vapor con gases de salida de baja concentración de CO<sub>2</sub>, la captura de carbono es una opción realista para el futuro.

Una vez capturado el CO<sub>2</sub>, es esencial poder almacenarlo de forma segura y permanente. Existen diferentes opciones de almacenamiento en diferentes etapas de desarrollo y aplicación.

El dióxido de carbono puede inyectarse en el subsuelo terrestre, una técnica conocida como almacenamiento geológico. Esta tecnología permite almacenar de forma permanente grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y es la opción de almacenamiento más ampliamente estudiada. Siempre que se seleccione cuidadosamente la ubicación, el CO<sub>2</sub> puede almacenarse durante largos periodos de tiempo y controlarse para garantizar que no produce ningún tipo de fugas.

Los depósitos agotados de petróleo y gas son una opción interesante para el almacenamiento

#### Opciones de almacenamiento subterráneo del CO<sub>2</sub>

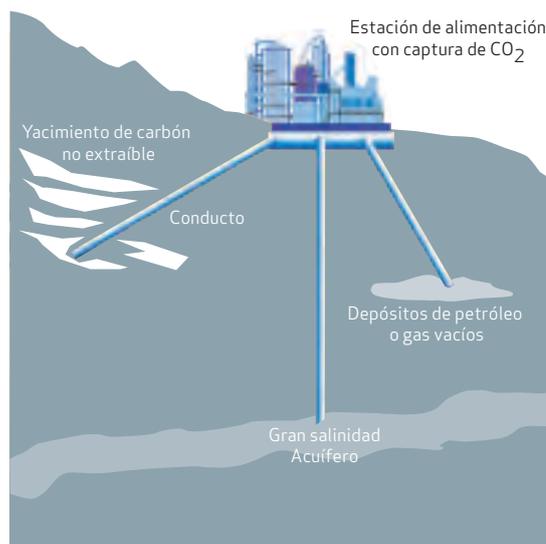


Diagrama cedido por cortesía del programa de investigación IEA GHG

geológico. Las últimas estimaciones sugieren que los campos petrolíferos agotados disponen de una capacidad de unas 126 Gigatoneladas (Gt) para CO<sub>2</sub>. Los depósitos de gas natural agotados tienen una capacidad de almacenamiento mucho mayor de 800 Gt de CO<sub>2</sub>. Los yacimientos carboníferos no extraíbles pueden tener una capacidad de almacenamiento de unas 150 Gt de CO<sub>2</sub>.

También pueden almacenarse grandes cantidades de CO<sub>2</sub> en depósitos saturados de agua de alto nivel salínico, permitiendo almacenar sus emisiones de CO<sub>2</sub> durante cientos de años. Las primeras estimaciones de la capacidad de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en formaciones salinas aún no han concluido, pero se piensa que puede rondar entre las 400 y las 10.000 Gt. Existen diferentes proyectos que demuestran la efectividad del almacenamiento de CO<sub>2</sub> en acuíferos salinos. La empresa noruega Statoil está llevando a cabo un proyecto en el campo de Sleipner, situado en la parte noruega del Mar del Norte. El proyecto Nagaoka, iniciado en Japón en 2002, es proyecto más pequeño de cinco años para la investigación y

## El efecto invernadero

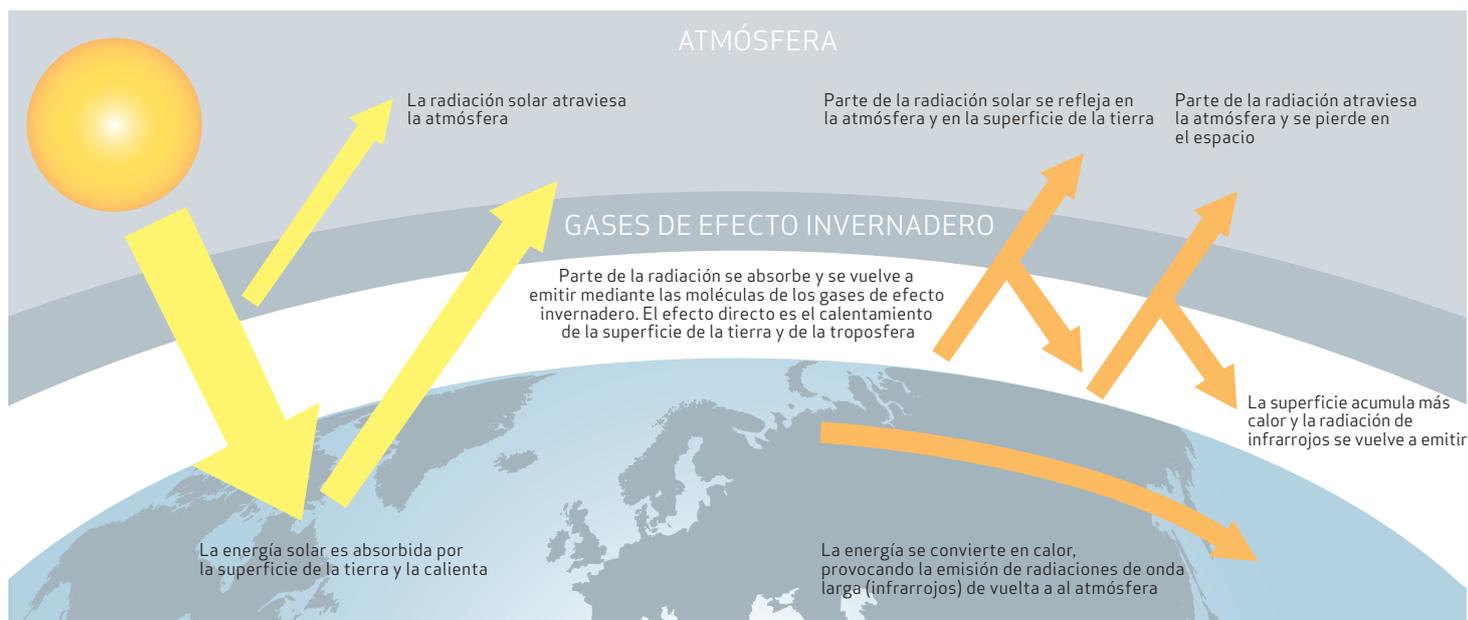


Diagrama cedido por cortesía del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático

comprobación del potencial del almacenamiento de  $\text{CO}_2$  en acuíferos en tierra y mar.

El almacenamiento de  $\text{CO}_2$  también puede suponer un beneficio económico al permitir un aumento de la producción de metano derivado del petróleo y del carbón. Estas técnicas son una versión mejorada de la recuperación de metano derivado del petróleo (EOR) y del carbón (ECBM). El  $\text{CO}_2$  puede utilizarse para “expulsar” el petróleo de las capas subterráneas y ya se utiliza ampliamente en el sector petrolífero. El proyecto de recuperación mejorada de petróleo Weyburn utiliza  $\text{CO}_2$  derivado de una central eléctrica de combustión de lignito de EEUU y lo transporta a través de un conductor de 205 millas hasta el campo petrolífero Weyburn en Canadá para acelerar la producción de petróleo. Alrededor de 5.000 toneladas o  $2,7 \text{ m}^3$  de  $\text{CO}_2$  por día se inyectan en el yacimiento, una cantidad que, de otro modo, se habría liberado en la atmósfera.

El ECBM permite que el  $\text{CO}_2$  se almacene en yacimientos de carbón sin explotar y mejora la

producción de metano carbonífero como un valioso producto derivado.

La captura y almacenamiento del carbón ofrece el potencial para una reducción a gran escala en las emisiones de  $\text{CO}_2$  necesaria para estabilizar las concentraciones atmosféricas de  $\text{CO}_2$ .

### El carbón y las energías renovables

El desarrollo e incorporación continuados de energías renovables desempeñarán un papel importante en la mejora del rendimiento medioambiental de la producción de energía en el futuro. No obstante, existen algunas barreras prácticas y económicas que limitan el nivel de crecimiento de este tipo de energías.

La energía renovable puede ser intermitente o impredecible y depender de su ubicación, lo que significa que sólo se puede disponer de ella en unos lugares determinados. La energía eólica, por ejemplo, depende de si sopla el viento y de su intensidad, e incluso las plantas más importantes

sólo funcionan un tercio del tiempo total. Muchas formas de biomasa son estacionales y pueden resultar difíciles de transportar. La electricidad proveniente de la combustión del carbón puede ayudar a mantener el crecimiento de las energías renovables equilibrando sus intermitencias de suministro. El carbón puede proporcionar una energía de base barata mientras que las energías renovables pueden utilizarse para cubrir las demandas máximas. La rentabilidad y eficacia de las biomásas renovables pueden mejorarse mediante la combustión combinada con carbón.

Mientras las tecnologías limpias del carbón mejoran el rendimiento medioambiental de las centrales eléctricas de combustión de carbón, su papel como fuente de energía asequible y de disponibilidad inmediata ofrecerá mayores ventajas medioambientales al ayudar al desarrollo de las energías renovables.

### Cómo superar los impactos medioambientales

El impacto medioambiental de nuestro consumo de energía es una preocupación para todos nosotros. Limitar los efectos negativos de la producción y uso del carbón es una prioridad para el sector del carbón y el centro de las investigaciones, desarrollos e inversiones. Se ha avanzado mucho: se han desarrollado tecnologías de uso extendido para limitar las emisiones de partículas, de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>, y de otros elementos. Las mejoras en la eficacia de la combustión del carbón han supuesto reducciones significativas en las emisiones de dióxido de carbono. El cada vez mayor uso de tecnologías para mejorar el rendimiento medioambiental del carbón resultará esencial, especialmente en los países en desarrollo, en los que el uso del carbón crecerá en el futuro.

Las innovaciones y avances tecnológicos, como la captura y almacenamiento del carbono, ofrece buenas expectativas para combatir las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del uso del carbón en el futuro.

### Las emisiones de UNFCCC y GHG

La Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas (UNFCCC) establece un marco general para aunar los esfuerzos intergubernamentales de cara a combatir el cambio climático. Se firmó en la Cumbre de la Tierra celebrada en Rio de Janeiro en 1992 y entró en vigor en 1994. Bajo la convención, los gobiernos:

- >> Reúnen y comparten información sobre emisiones de GHG, políticas nacionales y las mejores prácticas.
- >> Lanzan estrategias nacionales para reducir las emisiones de GHG y adaptarse a los impactos previstos, incluyendo la provisión de ayudas económicas y tecnológicas a los países en desarrollo.
- >> Cooperan en la preparación para la adaptación a los impactos del cambio climático.

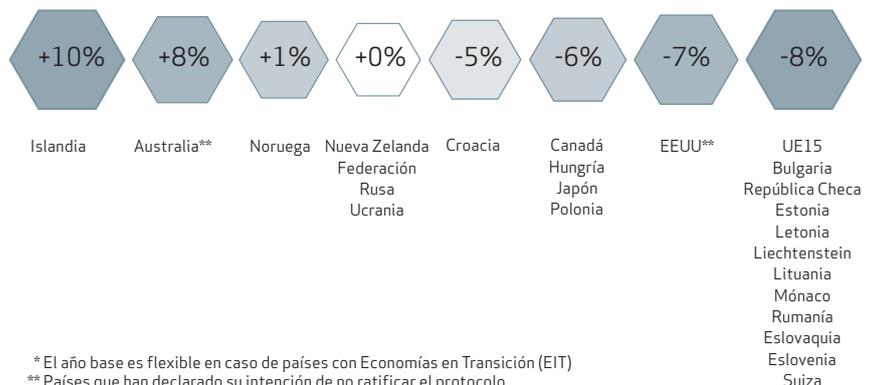
Los países que conforman la UNFCCC se reúnen anualmente en la Conferencia de Miembros (COP). Fue en la COP3, celebrada en Kyoto en 1997, cuando los países negociaron el protocolo de Kyoto, que estableció objetivos de obligado cumplimiento para la reducción de emisiones.

El protocolo de Kyoto entró en vigor en febrero de 2005. En ese momento, 128 países formaban parte del protocolo, 30 de los cuales son países desarrollados con objetivos de emisiones. Tanto Australia como EEUU no han ratificado el protocolo, pero están llevando a cabo sus propias medidas para estabilizar las emisiones de GHG.

Kyoto establece objetivos para los países industrializados "con vistas a reducir sus emisiones totales de dichos gases en un 5% por debajo de los niveles de 1990, en el periodo del compromiso 2008-2012".

Kyoto cubre las emisiones de los seis principales gases de efecto invernadero: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarburos (HFCs), perfluorocarburos (PFCs) y hexafluoruro sulfúrico (SF<sub>6</sub>). En lugar de establecer un objetivo específico para cada uno de estos gases, los objetivos globales para los seis gases se combinan y se traducen en "equivalentes de CO<sub>2</sub>", utilizados para obtener una cifra única.

### Objetivos de emisiones del protocolo de Kyoto (desde 1990\* hasta 2008/2012)



\* El año base es flexible en caso de países con Economías en Transición (EIT)

\*\* Países que han declarado su intención de no ratificar el protocolo



El acceso a la energía, y especialmente a la electricidad, es una fuerza impulsora del desarrollo económico y social. Fotografía cedida por cortesía de Anglo Coal.

# SATISFACER LAS DEMANDAS FUTURAS DE CARBÓN

**>> El sistema energético global se enfrentará a muchos desafíos durante este siglo. Deberá seguir suministrando energía segura y asequible enfrentándose al aumento de demanda. Al mismo tiempo, la sociedad espera una energía más limpia y menos contaminación, con un mayor énfasis en la sostenibilidad del medio ambiente. >>**

Durante los próximos 30 años, se estima que la demanda global de energía crecerá casi un 60%. Dos terceras partes de ese incremento provendrá de los países en desarrollo. Para el año 2030 supondrán casi la mitad de la demanda de energía.

No obstante, gran parte de las personas más pobres del planeta seguirán sin electricidad dentro de 30 años. Los niveles de electrificación en los países en desarrollo crecerán del 66% en 2002 al 78% en 2030, pero el número total de personas sin electricidad bajará muy poco, de 1.600 millones a poco menos de 1.400 millones de personas en 2030, debido al crecimiento de la población (véase el mapa de la página 40).

La energía es una cuestión vital para el desarrollo humano. Es imposible hacer funcionar una fábrica, abrir una tienda, transportar productos a los consumidores o lograr cosechas, por ejemplo, sin una forma de energía. El acceso a los modernos servicios de energía no sólo contribuye al crecimiento económico y de rentas, sino también a una mayor calidad de vida, con mejor educación y mejores servicios sanitarios. A menos que se mejore el acceso a la energía, muchos de los países más pobres del mundo seguirán atrapados en el círculo de la pobreza, la inestabilidad social y el subdesarrollo.

Si vamos a mejorar significativamente el acceso a

la energía en todo el mundo, y mantener un sistema de energía seguro, se necesitarán todas las formas de energía. Esto incluye al carbón, el gas, el petróleo, la energía nuclear, la energía hidroeléctrica y las energías renovables.

## El papel del carbón

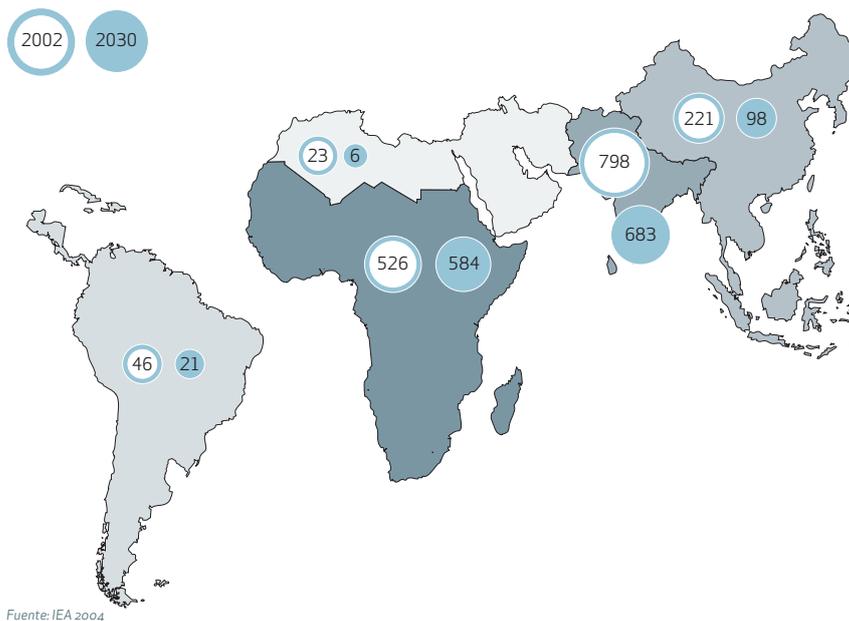
Como el combustible más importante para la generación de electricidad y como factor vital para la producción de acero, el carbón desempeñará un papel fundamental a la hora de satisfacer las necesidades futuras de energía.

Durante los últimos dos años, el uso del carbón ha crecido a un nivel superior que el resto de combustibles, aumentando casi un 7% en 2003. La demanda en China creció un 15%, en Rusia un 7%, en Japón un 5% y en EEUU un 2,6%.

La demanda de carbón y su papel fundamental en el sistema energético del mundo seguirá siendo importantes. Los países asiáticos vivirán el mayor incremento en el uso del carbón, correspondiendo a China e India el 68% del incremento.

El carbón seguirá siendo de vital importancia para la generación de electricidad en todo el mundo. En la actualidad suministra el 39% de la electricidad mundial y esta cifra apenas bajará un punto porcentual durante las próximas tres décadas. Con la disponibilidad de reservas abundantes,

Número de personas sin electricidad en los países en desarrollo (millones)



asequibles y geográficamente dispersas, el carbón desempeñará un papel fundamental en un mundo en el que el suministro asequible y fiable de energía será esencial para el desarrollo global.

Cómo lograr mayores ventajas medioambientales

La innovación tecnológica permitirá cubrir la demanda de carbón sin un impacto medioambiental inaceptable.

El mayor despliegue de tecnologías limpias para el carbón tendrá un impacto significativo en el rendimiento medioambiental del carbón en los países desarrollados y en los países en vías de desarrollo. Se ha sugerido, por ejemplo, que si se mejorase la eficacia de las centrales eléctricas alimentadas por carbón al nivel de las centrales de este tipo ubicadas en Alemania, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> sería superior a la lograda con el protocolo de Kyoto.

A largo plazo, la captura y almacenamiento del carbono ofrece el potencial para reducciones significativas de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del consumo de carbón, acercándose casi a al nivel de cero emisiones.

Las investigaciones y el desarrollo se centran en métodos innovadores para generar energía. Una opción importante a largo plazo es pasar a sistemas energéticos basados en el hidrógeno, en los cuales el hidrógeno se utiliza para producir electricidad a partir de turbinas de gas y, en último término, de celdas de combustible. Las celdas de combustible utilizan reacciones electroquímicas entre el hidrógeno y el oxígeno en lugar de un proceso de combustión para producir electricidad.

El hidrógeno no se obtiene de forma natural en cantidades útiles, debería fabricarse. Los combustibles fósiles son una posible fuente. El carbón, con las mayores y más extendidas reservas entre los combustibles fósiles, es el principal candidato para proporcionar hidrógeno, a

Demanda mundial de carbón por sectores – 2002



Demanda mundial de carbón por sectores – 2030



Demanda mundial de carbón (Mt)				
	2002		2030	
	Millón Toneladas	Cuota de carbón de generación de electricidad (%)	Millón Toneladas	Cuota de carbón de generación de electricidad (%)
OECD Norteamérica	1051	46	1222	40
OECD Europa	822	29	816	24
OECD Pacífico	364	36	423	29
<b>OECD</b>	<b>2237</b>	<b>38</b>	<b>2461</b>	<b>33</b>
Rusia	220	19	244	15
Otras economías en transición	249	27	340	18
<b>Economías en transición</b>	<b>469</b>	<b>22</b>	<b>584</b>	<b>16</b>
China	1308	77	2402	72
Este asiático	160	28	456	49
Sur de Asia	396	60	773	54
Latinoamérica	30	4	66	5
Oriente Medio	15	6	23	5
África	174	47	264	29
<b>Países en desarrollo</b>	<b>2085</b>	<b>45</b>	<b>3984</b>	<b>47</b>
<b>Todo el mundo</b>	<b>4791</b>	<b>39</b>	<b>7029</b>	<b>38</b>

Fuente: IEA 2004

través de la gasificación del carbón, en las cantidades necesarias.

Hasta hace poco, la gran cantidad de energía necesaria para los procesos necesarios, su alto coste y los derivados del CO<sub>2</sub> hicieron improbable el desarrollo de esta tecnología. No obstante, los importantes avances tecnológicos junto con el almacenamiento del carbono han reabierto la posibilidad de una producción hidrógeno a gran escala y medioambientalmente aceptable. El carbón está bien colocado para proporcionar las cantidades de hidrógeno necesarias para pasar a una nueva y diferente economía energética. Europa, Japón, EEUU y Nueva Zelanda disponen de programas activos de estudio y están considerando al carbón como una opción para la producción de hidrógeno.

### El carbón y nuestra energía futura

Disminuir la pobreza, mantener fuentes de energía seguras y proteger el medio ambiente son algunos de los principales desafíos a los que se enfrenta el mundo en la actualidad. La producción y uso del carbón están relacionados con estos desafíos.

SECCIÓN SEIS FINAL

## OTRAS LECTURAS

- >> **Anglo Coal**  
[www.angloamerican.co.uk](http://www.angloamerican.co.uk)
- >> **Asociación Australiana del Carbón**  
[www.australiancoal.com](http://www.australiancoal.com)
- >> **Ministerio Australiano para el Medio Ambiente y Legado**  
[www.deh.gov.au](http://www.deh.gov.au)
- >> **BHP Billiton Illawarra Coal, Extracción por tajos largos & Subsistencia, 2005**
- >> **Bluescope Steel**  
[www.bluescopesteel.com](http://www.bluescopesteel.com)
- >> **BP Resumen Estadístico de Energía 2004**
- >> **Estudio Geológico Británico**  
[www.bgs.ac.uk](http://www.bgs.ac.uk)
- >> **Federación del Sector del Cemento**  
[www.cement.org.au](http://www.cement.org.au)
- >> **Boletín Laboral de China**  
[www.china-labour.org.hk](http://www.china-labour.org.hk)
- >> **Asociación del Carbón de Canadá, 'The Coal Classroom'**  
[www.coal.ca/class.htm](http://www.coal.ca/class.htm)
- >> **Coalición para una Energía Asequible y Fiable**  
[www.careenergy.com](http://www.careenergy.com)
- >> **EDF Energy, sitio web de Power Up**  
[www.edfenergy.com/powerup](http://www.edfenergy.com/powerup)
- >> **Encarta online**  
<http://encarta.msn.com>
- >> **Administración para la Información sobre la Energía**  
[www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)
- >> **Energy Quest**  
[www.energyquest.ca.gov](http://www.energyquest.ca.gov)
- >> **IEA Centro del Carbón Limpio, Tecnologías limpias para el carbón, 2003**
- >> **IEA Centro del Carbón Limpio**  
[www.iea-coal.org.uk](http://www.iea-coal.org.uk)
- >> **IEA Información acerca del Carbón 2004, OECD/IEA**
- >> **IEA Información acerca de la Electricidad 2004, OECD/IEA**
- >> **IEA Programa de investigación sobre GHG**  
[www.ieagreen.org.uk](http://www.ieagreen.org.uk)
- >> **IEA Programa de investigación sobre GHG Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>**  
[www.co2captureandstorage.info](http://www.co2captureandstorage.info)
- >> **IEA Resumen Energético Mundial 2004, OECD/IEA**
- >> **Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático**  
[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- >> **IISI, Anuario Estadístico del Acero 2004, Instituto Internacional del Hierro y el Acero**
- >> **IISI, El Acero Mundial en Cifras (World Steel in Figures) 2004, Instituto Internacional del Hierro y el Acero**

- >> **Organización Internacional del Trabajo**  
[www.ilo.org](http://www.ilo.org)
- >> **Koala Venture**  
[www.koalaventure.com](http://www.koalaventure.com)
- >> **Asociación Nacional de Minería**  
[www.nma.org](http://www.nma.org)
- >> **NSW Consejo de Minerales**  
[www.nswmin.com.au](http://www.nswmin.com.au)
- >> **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico**  
[www.oecd.org](http://www.oecd.org)
- >> **PA Consulting**  
[www.paconsulting.com](http://www.paconsulting.com)
- >> **Asociación de Cementos de Portland**  
[www.cement.org](http://www.cement.org)
- >> **Roger Wicks, "El carbón: problemas y oportunidades en mundo limitado por el carbón" ("Coal – Issues and Options in a Carbon-Constrained World"), Optima, Volumen 51, Número 1, Febrero de 2005**
- >> **Sasol**  
[www.sasol.com](http://www.sasol.com)
- >> **Solid Energy New Zealand, El carbón: la fuente de energía líder en el mundo (Coal – the World's Leading Energy Source)**  
[www.solidenergy.co.nz/download/UsesofCoal.pdf](http://www.solidenergy.co.nz/download/UsesofCoal.pdf)
- >> **UK Coal**  
[www.ukcoal.com](http://www.ukcoal.com)
- >> **UNDP & Energía para el Desarrollo Sostenible, Programa de Desarrollo de Naciones Unidas, 2004**
- >> **Programa de Desarrollo de Naciones Unidas**  
[www.undp.org/energy](http://www.undp.org/energy)
- >> **Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas (UNFCCC): Los primeros diez años, 2004**
- >> **UNFCCC**  
[www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)
- >> **Ministerio de Energía de EEUU, Oficina para la Energía Fósil**  
[www.fe.doe.gov](http://www.fe.doe.gov)
- >> **Ministerio de Trabajo de EEUU**  
[www.dol.gov](http://www.dol.gov)
- >> **Agencia de protección del medio ambiente de EEUU**  
[www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- >> **Estudio Geológico de EEUU**  
[www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)
- >> **WCI, Carbón Limpio – Crear un futuro gracias a la tecnología (Clean Coal – Building a Future through Technology), Instituto Mundial del Carbón, 2004**
- >> **WCI, Datos sobre el carbón (Coal Facts fact card), Instituto Mundial del Carbón, 2004**
- >> **WCI, Carbón – Energía para el Progreso (Coal – Power for Progress), 4ª edición, Instituto Mundial del Carbón, 2000**
- >> **WCI, Datos sobre el carbón y el acero (Coal & Steel Facts fact card), Instituto Mundial del Carbón, 2005**
- >> **WCI, Ecoal, Volumen 52, Enero de 2005**
- >> **WCI, El papel del Carbón como Fuente de Energía (The Role of Coal as an Energy Source), Instituto Mundial del Carbón, 2002**
- >> **WCI, Datos sobre Transporte (Shipping Facts 1 & 2 fact cards), 2004**
- >> **WCI, Empresas sostenibles, el futuro del sector del carbón (Sustainable Entrepreneurship, the Way Forward for the Coal Industry), Instituto Mundial del Carbón, 2001**
- >> **Instituto Mundial del Carbón**  
[www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)
- >> **Consejo Mundial de la Energía, 2004 Estudio sobre los Recursos Energéticos**

# INSTITUTO MUNDIAL DEL CARBÓN

**>> EL Instituto Mundial del Carbón (WCI) es una asociación sin ánimo de lucro y no gubernamental de empresas del sector del carbón. >>**

El WCI es una organización acreditada por NU y el único grupo internacional representativo del sector del carbón. El WCI tiene su sede en Londres, y sus miembros están ubicados en todo el mundo. El WCI promueve:

- >> El carbón como un recurso estratégico, esencial para una calidad de vida moderna, factor clave para el desarrollo sostenible y elemento esencial para una mayor seguridad energética.
- >> Un sector progresivo comprometido con la innovación tecnológica y las mejoras de rendimiento medioambiental dentro del contexto de un conjunto energético equilibrado y responsable.

Los objetivos del Instituto Mundial del Carbón son:

- >> Proporcionar una voz al carbón en los debates de políticas internacionales;
- >> Mejorar el conocimiento público de los méritos e importancia del carbón como la fuente de combustible más importante para la generación de electricidad;

- >> Ampliar el conocimiento del papel fundamental que el carbón metalúrgico tiene en la producción mundial de acero, de la que depende toda la industria;
- >> Asegurar que aquellos que tienen el poder de decidir estén perfectamente informados acerca de los avances en las tecnologías limpias del carbón; de los avances en la mejora del uso eficaz del carbón y de la gran reducción del impacto del carbón en el medio ambiente;
- >> Ofrecer ayuda a otros sectores de la industria del carbón haciendo hincapié en la importancia del carbón y sus cualidades como recursos energético abundante, limpio, seguro y económico;
- >> Promover los méritos del carbón y modernizar la imagen del carbón como combustible limpio y eficaz, esencial para la generación de electricidad y para la producción de acero.

Cualquier empresa del sector del carbón de todo el mundo puede hacerse miembro del Instituto, estando representadas algunas empresas en la presidencia.

Para obtener más información acerca de las actividades del Instituto Mundial del Carbón, visite nuestro sitio web: [www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)

---

---

Para consultar acerca de cómo convertirse en miembro del WCI, póngase en contacto con el nuestra Secretaría:

Instituto Mundial del Carbón  
correo electrónico: [info@worldcoal.org](mailto:info@worldcoal.org)  
[www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)

*Esta publicación puede reproducirse parcialmente para propósitos educacionales o sin ánimo de lucro sin ningún permiso especial por parte del titular de los derechos, siempre que se haga referencia a la fuente. El Instituto Mundial del Carbón agradecería recibir una copia de cualquier publicación que utiliza ésta como fuente. No puede realizarse ningún uso de esta publicación para su venta o cualquier otro uso comercial sin el permiso previo por escrito del Instituto Mundial del Carbón.*

Primera publicación en Reino Unido, mayo de 2005

Copyright © 2005 World Coal Institute

Esta publicación tenía anteriormente el título de "Carbón – Energía para el progreso"  
(Coal – Power for Progress)



correo electrónico: [info@worldcoal.org](mailto:info@worldcoal.org)  
[www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)



