



EL CARBÓN EN LA VIDA COTIDIANA

De la pintura rupestre al
ascensor espacial

J. Ángel Menéndez Díaz

J. Ángel Menéndez Díaz

El carbón en la vida cotidiana

De la pintura rupestre al ascensor espacial

El carbón en la vida cotidiana. De la pintura rupestre al ascensor espacial

© J. Ángel Menéndez Díaz 2012

ISBN: 9781479386086

A mi padre,

“Hay cosas en la vida que valen más de un duru”

Índice

Agradecimientos.....	1
Introducción.....	3
El carbono, menudo elemento	9
¿En qué consiste la datación con carbono 14?	16
El carbón mineral no es un mineral.....	19
La carbonificación.....	19
Formación del carbón mineral.....	21
Rango de los carbones minerales.....	22
Los múltiples usos del carbón mineral	26
La formación del carbón y el diluvio universal.....	30
Azabache, el carbón mágico	32
El azabache en la historia.....	34
¿Un castigo para los niños malos?	36
La tragedia del Maine. Más se perdió en Cuba	38
El mechero de Saús	41
¿Es cierto que una central térmica de carbón da lugar a más emisiones radiactivas que una central nuclear?	42
El micrófono de carbón.....	44
Carbonización, coquización, grafitización	47
Precursores de los materiales de carbono.....	48

Génesis, 6, 14. La primera referencia bibliográfica	51
El carbón vegetal no es un vegetal	52
Usos del carbón vegetal	54
El carbón activo	57
Breve historia del carbón activo	62
Tamices para separar moléculas.....	64
Hasta en la ropa.....	65
Cómo descubrir huellas dactilares con carbón.....	66
Sal negra al carbón activado, una delicatessen culinaria	67
Coque metalúrgico.....	68
Coque de petróleo	70
Brea.....	73
¿Es posible hacer arder el azúcar?.....	76
Eres como una mujer perfumadita de brea (jabones, champús y pasta de dientes).....	77
Grafito.....	80
Del lápiz de grafito al bolígrafo espacial.....	85
Un grafito que es la bomba.....	88
El grafito que levita.....	89
Carbón tipo vidrio.....	91
Fibras de carbono y materiales compuestos C/C	93
Edison no inventó la bombilla eléctrica	99

La cosa más rápida en no-piernas	101
Casi como un Stradivarius	103
Espumas y geles de carbono	103
En baterías y supercondensadores	105
Los enanocarbones	111
Nanomoldeo.....	111
El negro de carbón	113
¿Por qué son negros los neumáticos?	115
La tinta china	115
El papel carbón se inventó para ayudar a escribir a los ciegos	116
Fullerenos, nanotubos y grafenos.....	119
La calculadora más pequeña del mundo	121
Elixir ratuno	122
El secreto del acero de Damasco.....	123
El ascensor espacial	124
Cómo ganar el Premio Nobel con un lápiz y un poco de cinta adhesiva	126
Pantallas flexibles de grafeno	127
Olimpiceno, los anillos olímpicos más pequeños del mundo.....	127
Adamas: el más fuerte	129

Diamantes naturales y sintéticos.....	130
Carbones tipo diamante.....	132
Un diamante NO es para siempre.....	133
Planetas de diamante.....	134
Diamantes negros extraterrestres.....	135
Los otros.....	137
Carbones vestidos y carbones desnudos.....	137
La nebulosa Saco de Carbón.....	138

Agradecimientos

Este libro es, en gran medida, un compendio de datos y, sobre todo, de curiosidades acerca de los materiales de carbono. Esto implica, por tanto, que los contenidos del libro presentan de forma resumida lo que otros ya han expuesto con anterioridad en una forma más amplia. Es de ley, pues, que agradezca a todos estos “otros” que me inspiraron y a los que “copié” con más o menos acierto. Así, los contenidos de índole científica, datos y características técnicas, han sido tomados de varias charlas, conferencias y seminarios de compañeros del Instituto Nacional del Carbón (INCAR) y del Grupo Español del Carbón (GEC), a los que agradezco que pusieran a mi disposición toda la documentación necesaria. Por otro lado, muchas de las curiosidades que recoge el libro han sido documentadas, y contrastadas múltiples veces, en internet. Mi agradecimiento pues a los creadores de los cientos de páginas que consulté. También quiero expresar mi agradecimiento a Ana, Ángeles y Ángel, que revisaron y corrigieron el manuscrito.

Introducción

Hace... bueno, hace ya unos cuantos años comencé a trabajar como becario en el Instituto Nacional del Carbón (INCAR). Sucedió que cuando la gente con la que me relacionaba me preguntaba por el trabajo, la primera pregunta que, casi de forma inevitable, me hacían muchos de ellos era: “¿y de que das clase?”. Trataba de explicarles que yo no daba clases, que el INCAR es un instituto de investigación perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). La siguiente pregunta, después de mirarme con cierta extrañeza, solía ser casi siempre: “¿y que investigáis ahí sobre el carbón?”. Esta iba acompañada, por lo general, de un: “¿pero del carbón no está ya todo inventado?”. Uno trataba de explicar de la mejor forma que podía que no, que ni mucho menos; que el carbón, los carbones, los materiales de carbono, tienen muchísimas aplicaciones, que siempre las han tenido y que sin duda quedan muchas más por descubrir. La cara de extrañeza pasaba a ser de cierto escepticismo. Con el paso del tiempo, situaciones más o menos parecidas no han dejado de repetirse. El caso es que, por poner un ejemplo, casi todo el mundo ha tomado una bebida de una lata de aluminio, pero muy pocos saben que el aluminio de esa lata se ha obtenido gracias a los ánodos de carbono que hacen posible la metalurgia del aluminio. Fue este desconocimiento general de lo importantes que son los materiales de carbono en nuestras vidas cotidianas lo que me llevó a ir recopilando una serie de descripciones sobre los diferentes materiales de carbono, su

origen, aplicaciones y unas cuantas historias, más o menos curiosas, relacionadas con los carbones. Todas estas cosas las fui “coleccionando” en un sitio de Internet que di en llamar *El carbón en la vida cotidiana*, con la intención de, en la medida de lo posible, darlas a conocer y tratar de arrojar algo de luz sobre el oscuro carbón. Vencida la inicial pereza y animado por algunas amistades sabedoras de la existencia de estas páginas web, me he decidido ahora a dar formato de libro al mencionado compendio. Esta es pues la historia de por qué un libro de divulgación sobre el carbón.

No espere el lector encontrar una obra al estilo académico, ni tampoco una mera colección de curiosidades. En realidad, se trata de una especie de “cajón de sastre” donde múltiples temas, eso sí todos ellos relacionados con el carbón, se tratan con distinta profundidad en función de la información de la que dispuse o del grado de interés que me suscitó en su momento. Por otro lado, el lenguaje empleado tampoco es uniforme en todas las secciones; ya que, si bien he tratado de evitar la profusión de tecnicismos, en muchos casos resulta prácticamente imposible no utilizarlos si se quiere tener un mínimo de rigor. De todas formas, también es objeto de esta obra intentar difundir la nomenclatura relacionada con estos materiales, aunque como se verá, si se sigue leyendo, a veces puede resultar algo confusa.

Ni están todos los que son...

El carbono es el cuarto elemento más abundante en el universo (después del hidrógeno, helio y oxígeno). Es además la base de la química orgánica y está presente en todos los

organismos vivos. Tiene también otras propiedades únicas, como el hecho de poseer el mayor punto de fusión y sublimación de todos los elementos (3550 °C y aproximadamente 3800 °C, respectivamente) o la de constituir el material más duro conocido: el diamante, a la vez que uno de los más blandos: el grafito. No es pues de extrañar la gran cantidad de carbones, o materiales de carbono, que se han desarrollado a partir de este elemento, ni que sus usos y aplicaciones sean prácticamente ilimitadas. Esta obra no pretende ser universal, dado que sería prácticamente imposible abarcar todo lo referente a los carbones. Se limita, sin más, a recoger un buen número de curiosidades y aplicaciones de una buena parte de estos materiales sin otro criterio de más peso que el hecho de que me hayan resultado interesantes. Así pues, insto al lector, caso de haber conseguido suscitar su curiosidad, a indagar por su cuenta en otros aspectos relativos a estos materiales no contemplados aquí.

...ni son todos los que están

Son numerosas las curiosidades que se recogen en este libro, algunas de ellas, espero, sorprendentes o desconocidas para buena parte de las personas que las lean. Sin embargo, uno no debería creerse, sin más, cualquier cosa que se lee por el mero hecho de estar escrito en un libro o cualquier otro medio impreso (algo que se me antoja bastante frecuente). Así, incidiendo en la recomendación de ampliar la información que aquí se da sobre aquellos temas que puedan resultar de interés, me he permitido incluir algo de mi propia invención. O sea, totalmente falso; o al menos eso creo, ya que son varias las

curiosidades que me han sorprendido a mí mismo cuando comprobé que efectivamente eran ciertas. Así que no sería tampoco descartable que aquello que yo creo que he incluido aquí como señuelo para despertar la curiosidad y animar a ampliar la información por cuenta de uno, al final resultase que no era del todo falso. En cualquier caso, solo he hecho esto en una única ocasión a lo largo de todo el libro y animo al lector a que descubra dónde.

¿Carbón o carbono?

En estas páginas se ha usado la palabra *carbón*, o *carbones*, como un término genérico que hace referencia a los materiales de carbono o materiales de carbón. ¿Qué forma es más educada? Ciertamente existe bastante confusión en cuanto al uso de esta terminología. Si acudimos al Diccionario de la Real Academia Española (DRAE), vemos que este define carbón como:

carbón.

(Del lat. *carbo*, *-ōnis*).

1. m. Materia sólida, ligera, negra y muy combustible, que resulta de la destilación o de la combustión incompleta de la leña o de otros cuerpos orgánicos.

2. m. carbón de piedra.

3. m. Brasa o ascua después de apagada.

4. m. carboncillo (□ de dibujar).

5. m. *Col.* carbunco (□ enfermedad).

~ animal.

1. m. carbón que por calcinación se obtiene de los huesos y sirve para descolorar ciertos líquidos.

~ de arranque.

1. m. carbón que se hace de raíces.

~ de canutillo.

1. m. carbón que se fabrica de las ramas delgadas de algunos árboles.

~ de piedra, o ~ mineral.

1. m. Sustancia fósil, dura, bituminosa y térrea, de color oscuro o casi negro, que resulta de la descomposición lenta de la materia leñosa, y arde con menos facilidad, pero dando más calor que el carbón vegetal.

~ vegetal.

1. m. El de leña.

Por otro lado, el término carbono se define como:

carbono.

(Del lat. carbo, -ōnis, carbón).

1. m. Elemento químico de núm. atóm. 6. Es extraordinariamente abundante en la naturaleza, tanto en los seres vivos como en el mundo mineral y en la atmósfera. Se presenta en varias formas alotrópicas, como el diamante, el grafito y el carbón. Constituye la base de la química orgánica, y además de su importancia biológica, tiene gran variedad de usos y aplicaciones en sus distintas formas. Uno de sus isótopos, el carbono 14, es radiactivo y se utiliza para fechar objetos y restos antiguos, y como trazador en la investigación biológica. (Símb. C).

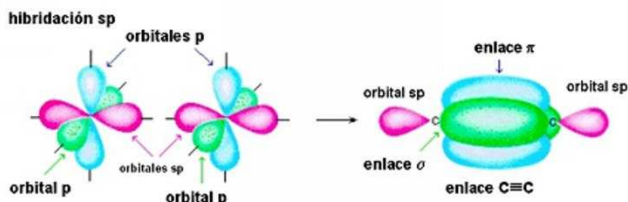
Así pues el DRAE no aclara mucho la cuestión, dado que estas definiciones son obsoletas, cuando no incorrectas (como en la del carbono, en la que se dice que una forma alotrópica de este es el carbón; lo cual no es cierto). No obstante, desde un punto de vista estricto, quizá lo correcto sería usar la palabra *carbón*, ya que la palabra *carbono* hace referencia al elemento químico; mientras que el término *carbón*, en el caso de “materiales de carbón”, “fibra de carbón”, etc. haría referencia al hecho de ser productos obtenidos de la “destilación o combustión incompleta”, más correctamente de la carbonización, como se verá más adelante. Así, no parece haber ninguna duda cuando se habla de carbón vegetal (y no de carbono vegetal) o de carbones grafiticos (y no de carbonos grafiticos). Por otro lado, el uso de la palabra carbón es el recomendado por la IUPAC para esta nomenclatura en español (F. Rodríguez-Reinoso. CARBÓN 1989, 27, 305-312). Ahora bien, lo cierto es que el uso de la palabra *carbono* en los términos mencionados anteriormente, y otros similares, parece estar imponiéndose de forma mayoritaria en casi todos los medios. Resultaría pues muy difícil cambiar este uso, ya mayoritario, por lo que admitir ambas formas como correctas parece algo bastante razonable.

El carbono, menudo elemento

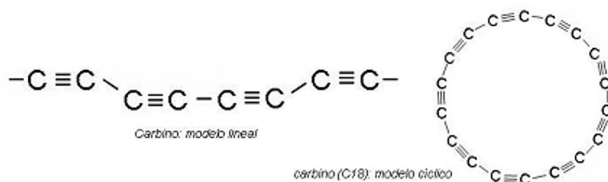
Todos los materiales de carbono están compuestos de átomos de carbono. Sin embargo, dependiendo de la organización que presenten estos átomos, los materiales de carbono pueden ser muy diferentes unos de otros. Las estructuras a las que dan lugar las diversas combinaciones de átomos de carbono pueden llegar a ser muy numerosas. En consecuencia, existe una gran variedad de materiales de carbono.

Para intentar explicar las diferentes estructuras de los carbonos conviene empezar a una escala atómica. Así, los átomos de carbono poseen una estructura electrónica $1s^2 2s^2 2p^2$, lo que permite que los orbitales atómicos de los átomos de carbono puedan presentar hibridaciones de los tipos: sp , sp^2 y sp^3 .

Cuando se combinan átomos de carbono con hibridación sp se generan cadenas de átomos en las que cada átomo de carbono está unido a otro átomo de carbono por un enlace triple y a un segundo átomo de carbono por un enlace sencillo.

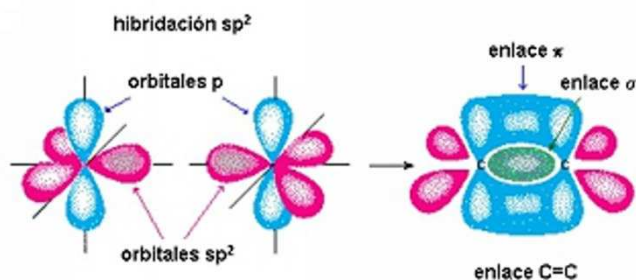


Este tipo de estructuras constituyen una forma alotrópica del carbono poco común: los carbinos. Los carbinos pueden presentar una estructura lineal o cíclica.



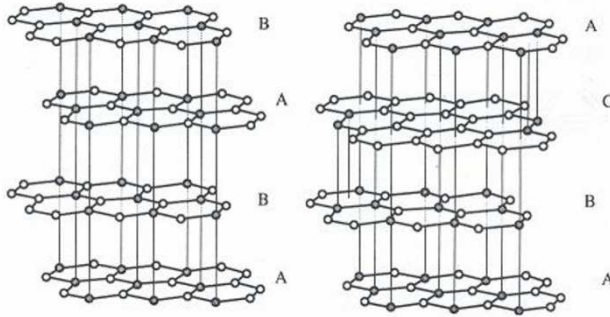
Dos de las estructuras propuestas para los carbinos

Cuando se combinan átomos de carbono con hibridación sp^2 , cada átomo de carbono se une a otros tres en una estructura plana que da lugar a la forma alotrópica del grafito.



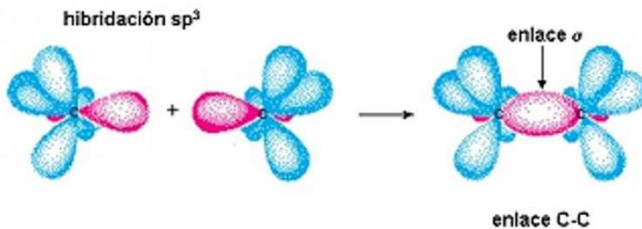
Los átomos de carbono forman un sistema de anillos condensados que dan lugar a láminas paralelas entre sí. Los enlaces químicos de las láminas son covalentes entre orbitales híbridos sp^2 , mientras que los enlaces entre las láminas son por fuerzas de van der Waals. Dependiendo del apilamiento de las láminas, existen dos formas alotrópicas diferentes: el grafito hexagonal, que es la forma termodinámicamente estable en la

que la secuencia de apilamiento de las láminas es ABAB; y el grafito romboédrico, que es una forma termodinámicamente inestable y mucho menos abundante, con una secuencia de apilamiento ABCABC.



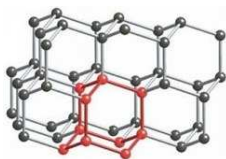
Estructuras del grafito hexagonal (ABAB) y del grafito romboédrico (ABCABC)

Cuando se combinan átomos de carbono con hibridación sp^3 , cada átomo de carbono se une a otros cuatro formando una estructura tridimensional que da lugar a la forma alotrópica del diamante.

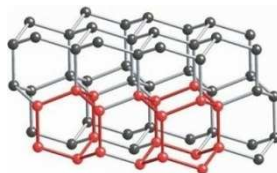


El diamante cúbico es la estructura más habitual de esta forma alotrópica. Sin embargo, bajo ciertas condiciones el carbono cristaliza como diamante hexagonal o lonsdaleita (llamada así en honor a Kathleen Lonsdale), una forma similar

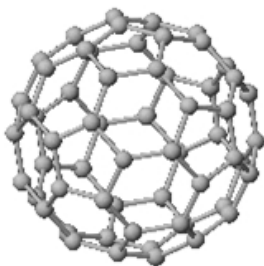
al diamante pero hexagonal. Esta forma inusual del diamante se encontró por primera vez en 1967 en forma de cristales microscópicos, asociados al diamante, en restos del meteorito del Cañón del Diablo en Arizona. Con posterioridad, también se ha identificado esta forma de diamante en otros meteoritos. Se cree que se forma en el momento del impacto de meteoritos que contienen grafito contra la Tierra, de tal forma que el calor y energía del impacto transforman el grafito en diamante, manteniendo en parte la estructura hexagonal del grafito.



Diamante cúbico



Diamante hexagonal



Fullereno C₆₀

Una forma alotrópica del carbono en la cual los átomos de carbono presentan una hibridación intermedia entre la sp^2 y la sp^3 es el fullereno. Este tipo de hibridación hace posible que los átomos de carbono puedan combinarse formando hexágonos y pentágonos en estructuras tridimensionales cerradas. El fullereno más común es el C_{60} (de 60 átomos de carbono) y es similar a un balón de fútbol, aunque también se han descrito

otros fullerenos: C_{76} ,... C_{100} , etc. Los nanotubos de carbono presentan también estas hibridaciones intermedias y pueden considerarse como láminas de grafito enrolladas en forma de tubos. Los nanotubos pueden ser abiertos o cerrados, en cuyo caso la estructura que cierra el nanotubo es similar a la mitad de un fullereno. Los nanotubos también pueden ser monocapa (de una sola capa) o multicapa (varias capas concéntricas). La nanoespuma de carbono está considerada también como una forma alotrópica del carbono en la que los átomos de carbono presentan este tipo de hibridación intermedia. En esta forma alotrópica los átomos de carbono se combinan en hexágonos y heptágonos dando lugar, al contrario que en los fullerenos, a una curvatura inversa. Estas estructuras presentan un electrón desapareado.

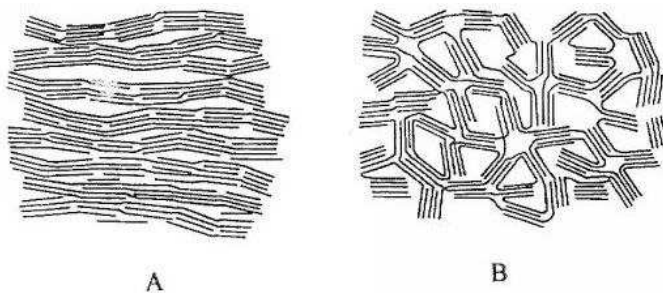
Prácticamente todos los carbones tecnológicos presentan la forma alotrópica del grafito. Los diamantes no son carbones propiamente dichos, si bien los carbones sintéticos “tipo diamante” podrían considerarse como un tipo de carbón.

Si aumentamos la escala y nos fijamos ahora en unas cuantas láminas gráficas (planos basales) podemos dividir los carbones en: carbones gráficos (todo tipo de sustancia formada por el elemento carbono en la forma de grafito, independientemente de la



Modelo propuesto para la estructura del carbón activado (carbón no grafitizable)

presencia de defectos estructurales), carbones no grafiticos (todo tipo de sustancia constituida principalmente por el elemento carbono en que la estructura presenta un orden bidimensional de átomos de carbón en láminas planas hexagonales, pero sin ningún orden cristalográfico en la tercera dimensión, dirección c, aparte del hecho de que las láminas sean más o menos paralelas). A su vez, los carbones grafiticos pueden ser: grafitizables (carbón no grafitico que se convierte en carbón grafitico mediante un tratamiento térmico de grafitización) y no grafitizables (carbón no grafitico que no se puede transformar en carbón grafitico mediante un simple tratamiento térmico a temperaturas de hasta 3000 °C a presión atmosférica o a presiones inferiores a la atmosférica).

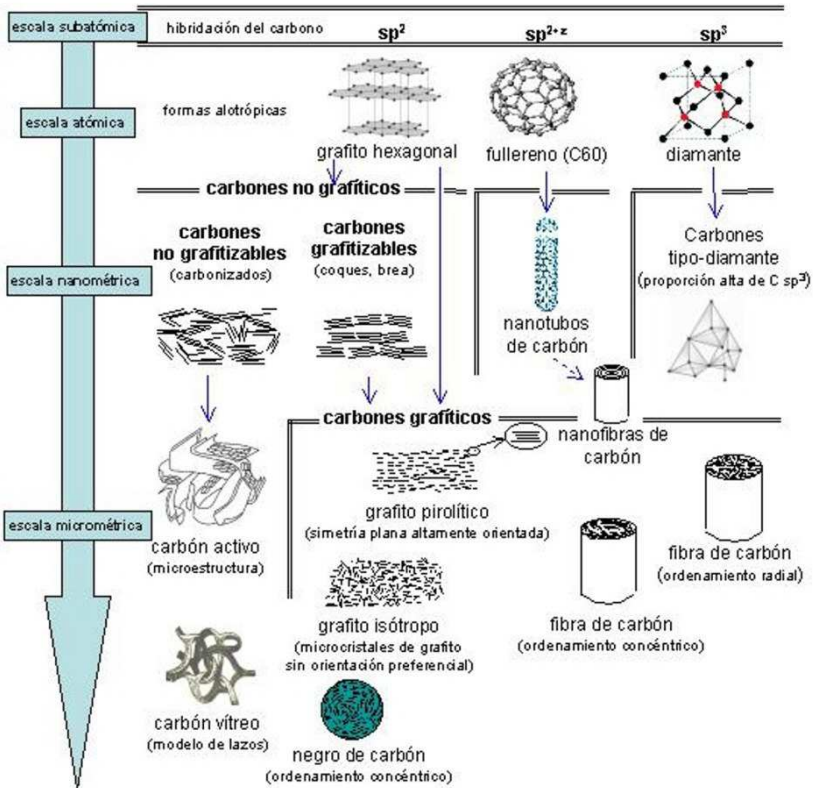


(A) estructura de un carbón no grafitico grafitizable

(B) estructura de un carbón no grafitico no grafitizable

Si seguimos aumentando la escala y nos fijamos ahora en cómo se estructuran los grupos de láminas grafiticas nos encontramos con una gran variedad de tipos de carbones que pueden ir desde el grafito con una simetría plana y altamente orientado hasta el carbón activado en el cual los planos basales

son de pequeño tamaño y los apilamientos de estos apenas alcanzan unos pocos planos. Los negros de carbón presentan unidades cristalinas gráficas ordenadas en forma concéntrica, mientras que las fibras de carbón pueden ser de varios tipos dependiendo del ordenamiento de los planos gráficos.



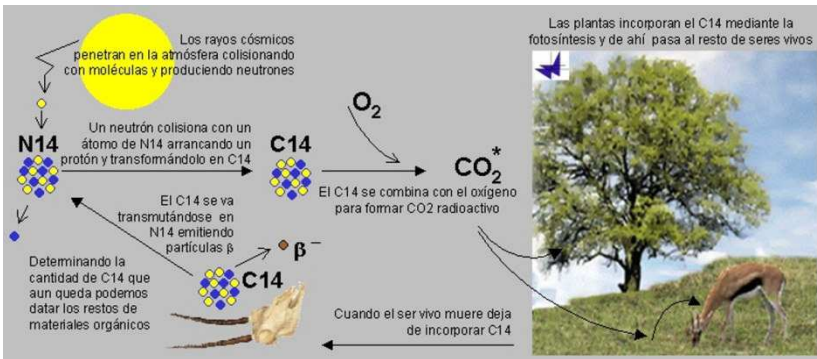
Carbones y sus diferentes estructuras microscópicas

¿En qué consiste la datación con carbono 14?

La datación con carbono 14 es un procedimiento de determinación de la edad basado en la existencia de un isótopo del carbono de masa atómica 14 (el 99% de los átomos de carbono tienen una masa atómica de 12). El carbono-14 (^{14}C) es un radioisótopo del carbono, descubierto en 1940 por Martin Kamen y Sam Ruben. Su núcleo contiene seis protones y ocho neutrones. La semivida de este isótopo es de 5730 años. Debido a su presencia en todos los materiales orgánicos, el carbono-14 se emplea en la datación de especímenes orgánicos.

Este procedimiento de datación fue puesto a punto al final de los años 40 por Willard Libby y su equipo de la Universidad de Chicago, por el que obtuvieron el Premio Nobel de Química en 1960. El método de datación radiocarbónica con carbono 14 es la técnica más fiable para conocer la edad de muestras orgánicas de menos de 60 000 años. Está basado en la ley de desintegración exponencial de los isótopos radiactivos. El isótopo ^{14}C es producido de forma continua en la atmósfera como consecuencia del bombardeo de átomos de nitrógeno por neutrones cósmicos. El isótopo creado es inestable, por lo que, espontáneamente, se va transmutando poco a poco en nitrógeno-14 (^{14}N). Estos procesos de generación-degradación de ^{14}C se encuentran prácticamente equilibrados, de manera que el isótopo se encuentra homogéneamente mezclado con los átomos no radiactivos en el CO_2 de la atmósfera. La fotosíntesis incorpora el átomo radiactivo en las plantas de manera que la proporción $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ en estas es similar a la

atmosférica. Los animales incorporan, por ingestión, el carbono de las plantas. Ahora bien, tras la muerte de un organismo vivo no se incorporan nuevos átomos de ^{14}C a los tejidos y la concentración del isótopo va decreciendo conforme va transformándose en ^{14}N por desintegración radiactiva.



La masa en isótopo ^{14}C de un ser vivo disminuye a un ritmo exponencial conocido, de forma que a los 5730 años de su muerte la cantidad de ^{14}C en sus restos se ha reducido a la mitad. Al medir la cantidad de radiactividad en una muestra de origen orgánico se calcula la cantidad de ^{14}C que aún queda en el material, con lo que puede ser datado el momento de la muerte del organismo correspondiente. Es lo que se conoce por edad radiocarbónica o de ^{14}C , y se expresa en años BP (*Before Present*). Esta escala equivale a los años transcurridos desde la muerte del ejemplar hasta el año 1950 de nuestro calendario. Se elige esta fecha por convenio y porque en la segunda mitad del siglo XX, los ensayos nucleares provocaron severas anomalías en las curvas de concentración relativa de los isótopos radiactivos en la atmósfera. Por otro lado, la proporción $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ en la atmósfera no es constante en el

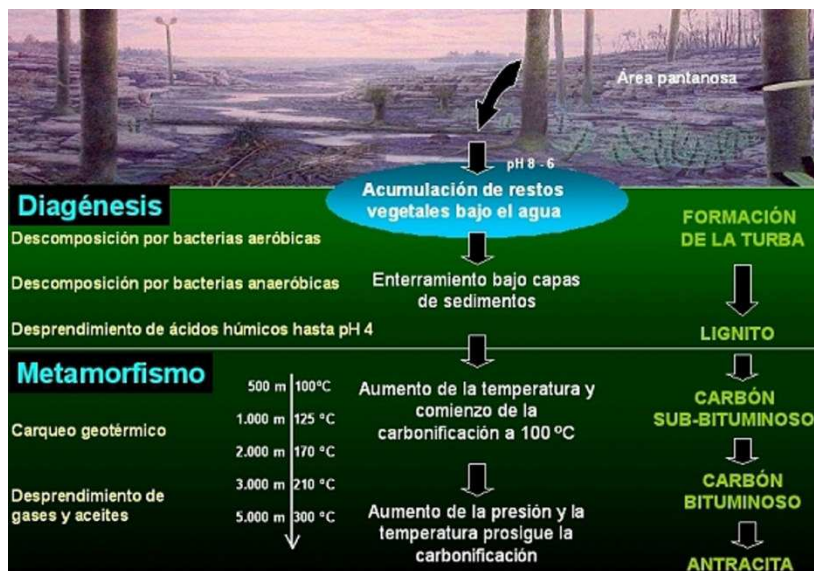
tiempo, y por tanto las comparaciones deben hacerse con distintos datos en función de la edad del objeto. Al comparar las concentraciones teóricas de ^{14}C con las de muestras de maderas de edades conocidas se descubrió que existían diferencias con los resultados esperados de hasta un 17%. Esas diferencias se deben a que la concentración de carbono radiactivo en la atmósfera también ha variado respecto al tiempo. Hoy se conoce con precisión la evolución de la concentración de ^{14}C en los últimos 25 000 años, por lo que puede corregirse esa estimación de edad comparándola con curvas obtenidas mediante interpolación de datos conocidos. La edad así hallada se denomina edad calibrada y se expresa en años *Cal BP* (del inglés *calibrated [years] before present*).

El carbón mineral no es un mineral

La denominación *carbón mineral* es engañosa, ya que esta forma de carbón no se puede considerar un tipo de mineral. Los minerales son sustancias inorgánicas que están compuestas por átomos que presentan un cierto orden cristalino. Por el contrario, el carbón mineral es una sustancia orgánica puesto que procede de la carbonificación de restos vegetales y no presenta ningún tipo de cristalinidad.

La carbonificación

La carbonificación es el proceso geológico de formación de materiales con contenido creciente en carbono (turbas y carbones minerales) a partir de materiales orgánicos que se encuentran en la corteza terrestre por transformación gradual a temperaturas moderadas (alrededor de 250 °C) y a alta presión. La carbonificación es un proceso de deshidrogenación incompleta, con una cinética muchísimo más lenta que la de la carbonización (eliminación de los volátiles de la materia orgánica por calentamiento en ausencia de aire). La carbonificación no es una fosilización ya que en el caso de la fosilización la materia orgánica se sustituye gradualmente por materia mineral mientras que en el caso de la carbonización el carbón mineral resultante sigue siendo un compuesto orgánico.

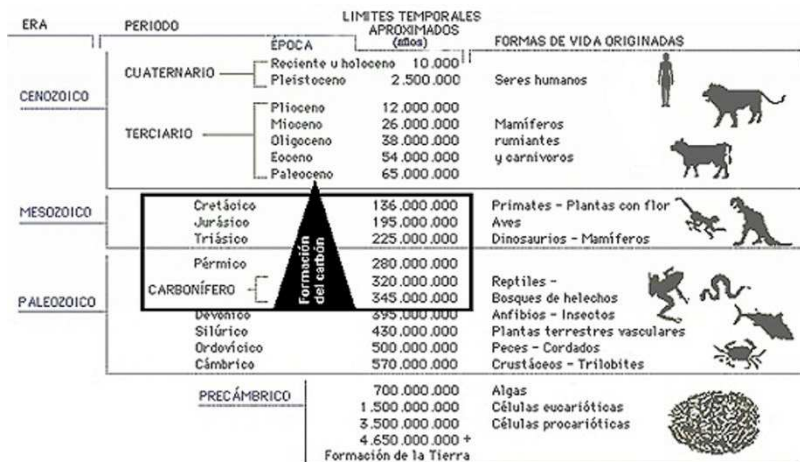


En la carbonificación existen dos grandes etapas: la diagénesis, en la que tiene lugar la descomposición de la materia orgánica por bacterias hasta formar la turba, y el metamorfismo en el que se continúa la carbonificación por la acción del calor y la presión. Durante la diagénesis ocurren procesos de descomposición de la materia orgánica debidos al ataque de las bacterias aeróbicas, lo que sucede cuando los restos vegetales están cubiertos parcialmente por agua, o a poca profundidad, donde aún hay oxígeno para que puedan existir estas bacterias. Durante esta etapa se produce una reducción de volumen de hasta un 50%. Una vez que las bacterias consumen todo el oxígeno, esta etapa finaliza y comienza la descomposición de la materia orgánica restante por las bacterias anaeróbicas. En esta etapa continúa la descomposición de la materia orgánica produciéndose ácidos

húmicos, los cuales van acidificando el medio hasta llegar a un pH 4, en el cual mueren las bacterias anaeróbicas. De esta forma surge la turba sobre la cual se van depositando más restos vegetales que a su vez forman más turba, lo que hace que la temperatura de las capas inferiores vaya aumentando, comenzando las transformaciones por metamorfismo cuando la temperatura alcanza los 100 °C. Con el transcurso de miles de años, más acumulaciones de turba y sedimentos van enterrando cada vez más el carbón mineral que se está formando. Debido al aumento de la temperatura y la presión, el carbón mineral va evolucionando desde el lignito hasta la antracita, liberándose gases, sustancias volátiles y aceites, y enriqueciéndose cada vez más en carbono.

Formación del carbón mineral






La gran mayoría de los depósitos de carbón mineral se formaron durante el período geológico del Carbonífero. Otros depósitos importantes se formaron durante el Pérmico. Existen también depósitos, menos abundantes pero significantes, formados durante el Triásico y el Jurásico y en menor cantidad en el Cretácico.




Rango de los carbones minerales

Existen diferentes tipos de carbones minerales en función del grado de carbonificación que haya experimentado la materia vegetal que originó el carbón. Estos van desde la turba, que es el menos evolucionado y en que la materia vegetal muestra poca alteración, hasta la antracita, que es el carbón mineral con una mayor evolución. Esta evolución depende de la edad del carbón, así como de la profundidad y condiciones de presión, temperatura, entorno, etc. en las cuales la materia vegetal evolucionó hasta formar el carbón mineral. El rango de un carbón mineral se determina en función de criterios tales como su contenido en materia volátil, contenido en carbono fijo, humedad, poder calorífico, etc. Así, a mayor rango, mayor es el contenido en carbono fijo y mayor el poder calorífico, mientras que disminuyen su humedad natural y la cantidad de materia volátil. Existen varias clasificaciones de los carbones

según su rango. Una de las más utilizadas divide a los carbones de mayor a menor rango en: antracita, bituminoso bajo en volátiles, bituminoso medio en volátiles, bituminoso alto en volátiles, subbituminoso, lignito y turba. La hulla es un carbón mineral de tipo bituminoso medio y alto en volátiles. En cuanto a los parámetros de rango, estos también pueden variar de una clasificación a otra, aunque unos valores promedio podrían ser los que figuran en la siguiente tabla.

RANGO	C fijo (%)	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Poder calorífico (MJ/kg)
Antracita 	86 - 98	< 3	< 5	23 - 33
Bituminoso (Hulla) (bajo, medio y alto en volátiles) 	45 - 86	5 - 10	10 - 30	24-35
Subbituminoso 	35 - 45	15 - 30	30 - 40	20-21
Lignito 	25 - 42	40 - 60	40 - 50	10-20
Turba 	< 25			



mayor contenido en C fijo, mayor poder calorífico
AUMENTO DEL RANGO
 menor humedad, menor contenido en materia volátil

Antracita. Las antracitas datan de los periodos Carbonífero y Pérmico de la era primaria, hace unos 250 millones de años. Es el carbón mineral de más alto rango y el que presenta mayor contenido en carbono. Sin embargo, su poder calorífico es, en general, inferior al de los carbones bituminosos debido a su bajo contenido en materia volátil. La antracita presenta una ignición difícil, pero arde con una llama azul corta y sin apenas humos. La antracita presenta una mayor dureza, densidad y brillo que el carbón bituminoso.

Carbón bituminoso. Existen carbones bituminosos que datan de los periodos Jurásico, Triásico, Pérmico y Carbonífero. Es un carbón mineral denso de color negro o marrón oscuro. Se utiliza para su combustión en centrales térmicas y para la producción de coque metalúrgico. La hulla pertenece a este tipo de carbón bituminoso, con contenidos alto y medio en volátiles.

Carbón subbituminoso. Estos carbones presentan propiedades intermedias entre las del lignito y los carbones bituminosos. Normalmente se utilizan en centrales térmicas para la producción de energía.

Lignito. Es de rango inferior al de los carbones subbituminosos y, por lo general, presenta un color marrón oscuro, por lo que se les denomina a veces lignitos pardos. Se usan principalmente en la producción de energía en centrales térmicas. Una variedad de lignito muy particular es el azabache, que

es muy apreciado en joyería y considerado como una piedra semipreciosa.

Turba. La turba es un material orgánico compacto, de color pardo oscuro y rico en carbono. La formación de turba constituye la primera etapa del proceso por el que la vegetación se transforma en carbón mineral. Se forma como resultado de la putrefacción y carbonización parciales de la vegetación en el agua ácida de las turberas. La formación de una turbera es relativamente lenta como consecuencia de una escasa actividad microbiana, debida a la acidez del agua o la baja concentración de oxígeno. El paso de los años va produciendo una acumulación de turba que puede alcanzar varios metros de espesor, a un ritmo de crecimiento que se calcula de entre medio y diez centímetros cada cien años. En estado fresco alcanza hasta un 98% de humedad, pero una vez desecada puede usarse como combustible. La turba también se usa en jardinería para mejorar suelos por su capacidad de retención de agua.



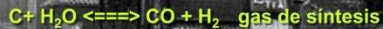
Mina de carbón a cielo abierto en Fabero del Bierzo (España)

Los múltiples usos del carbón mineral

Algunos historiadores creen que el carbón mineral 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 a. de C. Una de las primeras referencias al carbón fue realizada por el filósofo griego Aristóteles, que hacía referencia a una roca similar al carbón vegetal. Se han encontrado restos de carbón en unas ruinas romanas en Inglaterra, lo que indica que los romanos utilizaban la energía del carbón desde antes del 400 d. de C. 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.

La gasificación del carbón gas de alumbrado, gas ciudad

50% H₂ 34% CH₄ 8% CO



En 1802 se utilizó por primera vez el gas de alumbrado. Los franceses con Philippe Lebon y los ingleses con William Murdoch se disputan la paternidad del inventor del desarrollo práctico del **Gas del Alumbrado**. Hoy en día el **gas ciudad** ha sido prácticamente sustituido por el gas natural, sin embargo estos procesos de gasificación son objeto de investigación con la biomasa.

Producción de electricidad en centrales térmicas

Las centrales térmicas en las que se quema **carbón mineral** siguen siendo en la actualidad una de las principales fuentes de energía en todo el Mundo.

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 mineral, desarrollada por Thomas Edison, entró en funcionamiento en Nueva York en 1882, proporcionando electricidad a las luces domésticas.

La gran mayoría de los carbones minerales se destinan a la producción de energía eléctrica en centrales térmicas. También se utiliza como combustible para la producción de energía térmica en hornos, calefacciones, etc. Sin embargo, este uso ha venido perdiendo importancia debido a la utilización de otro tipo de combustibles, como los derivados del petróleo o los derivados de la biomasa. Otro de los usos mayoritarios de los carbones, especialmente de la hulla y carbones bituminosos (carbones coquizables), es la producción de coque metalúrgico, usado para la obtención de arrabio en el alto horno y en otras industrias metalúrgicas. Durante el proceso de coquización también se obtiene, además del coque, la brea de alquitrán de hulla. Una gran parte de las breas son utilizadas, junto con el coque de petróleo, en la producción de electrodos para la industria del aluminio y electrodos para hornos de arco eléctrico. Las breas de alquitrán de hulla también pueden ser usadas como precursores del grafito sintético, fibras de

carbono y materiales compuestos C/C. Algunos productos químicos pueden producirse a partir de subproductos obtenidos durante la coquización como la creosota, la naftalina, el fenol y el benceno. El gas de amoníaco recuperado de los hornos de coque se utiliza para fabricar sales de amoníaco, ácido nítrico y fertilizantes agrícolas. La gasificación de algunos carbones minerales da lugar a la producción de distintos tipos de gases que pueden utilizarse como combustible o en la fabricación de diversos compuestos químicos. En ciertos países el carbón se convierte en combustibles líquidos. A este proceso se le denomina licuefacción. El combustible líquido puede refinarse para producir combustible de transporte y otros productos similares a los 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 y la licuefacción indirecta de carbón, en la que el carbón primero se gasifica y después se convierte en líquido. Por otro lado, los carbones no coquizables (o los coquizables cuando se les eliminan sus propiedades plásticas mediante un proceso de oxidación) pueden someterse a procesos de carbonización/activación, obteniéndose carbón activo. Aunque no de forma mayoritaria, el carbón mineral también puede usarse en muchas otras aplicaciones, como por ejemplo la fabricación de espumas de carbono.

La formación del carbón y el diluvio universal

El origen y formación del carbón mineral ha dado lugar a un controvertido debate, que aún permanece, entre los evolucionistas (que explican la formación del carbón a partir de una acumulación orgánica natural como turberas, marismas, pantanos, etc. que fueron paulatinamente cubiertos por estratos de sedimentos, sufriendo posteriormente un proceso de carbonificación durante millones de años) y los creacionistas (que sugieren que la mayoría del carbón se desarrolló a partir de materia vegetal transportada de otras partes, y que provenía de materias vegetales arrastrados durante una catástrofe de gran envergadura a nivel mundial, como fue el diluvio universal de Noé).

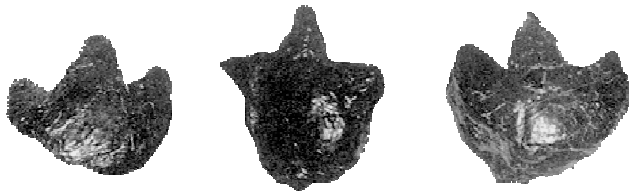
Algunos de los argumentos a favor y en contra de la teoría de la acumulación gradual (teoría evolucionista) y la sepultura catastrófica (teoría creacionista) se resumen a continuación.

Creacionista. Presencia de restos de árboles que no crecen en ambientes pantanosos.

Evolucionista. Reconoce la formación, pero solo en algunos yacimientos, de ciertos depósitos de sedimentos transportados de otros lugares, junto con la formación por acumulación gradual.

Creacionista. Presencia de fósiles de animales marinos muy bien conservados que no han experimentado el mismo grado de descomposición que el carbón.

Evolucionista. Presencia de fósiles de distintas épocas desde el carbonífero hasta el cretácico incluyendo alguna huella de dinosaurio. Ausencia de fósiles o restos de ningún animal que fuese contemporáneo de Noé.



Huellas de dinosaurios encontradas en una mina de carbón de Utah

Creacionista. Existencia de yacimientos con capas de muchos metros de espesor (algunos de hasta cien o más metros) que requerirían de grandes acumulaciones de materia vegetal traída de otra parte. Según los creacionistas serían necesarios unos 12 metros de restos de vegetación acumulada para producir una capa de carbón de un metro de espesor. Por otro lado, asume que en condiciones adecuadas de presión y temperatura los restos vegetales no necesitan de mucho tiempo para evolucionar a carbón. Otro argumento esgrimido por los creacionistas a favor de la rápida acumulación y carbonificación es que, si el cálculo se hace en términos energéticos, se estima que 128 años de energía solar acumulada en las plantas por fotosíntesis serían equivalentes a la energía acumulada en los yacimientos de carbón conocidos.

Evolucionista. Sostienen que la proporción necesaria de restos vegetales acumulados frente al

espesor de una capa de carbón es menor de 2:1 y muy cercana a 1:1. Por otro lado, en muchos carbones bituminosos se observa un bajo contenido en cenizas, lo que los hace incompatibles con un origen por arrastre de depósitos masivos de materia orgánica necesariamente mezclados con materia inorgánica.

Azabache, el carbón mágico

El azabache es una variedad de lignito de color negro intenso, brillante, frágil y susceptible de ser pulido. Está constituido principalmente por vitrinita, un maceral (componente de origen orgánico, que es al carbón lo que un mineral a una roca) de aspecto vítreo procedente del tejido leñoso de las plantas. De conformación compacta, suave al tacto, ligero y bastante duro (entre 3 y 4 en la escala de Mohs), arde produciendo mucho humo, despidiendo olor bituminoso y a veces fétido. Su densidad oscila entre 1,2 y 1,3 gr/cm³. El azabache se forma a partir de madera fosilizada en presencia de agua. Observado al microscopio, el azabache sigue conservando su estructura vegetal. Existen varios tipos de azabache que difieren en su dureza, una hipótesis apunta a que el azabache “duro” se formó en presencia de agua salada, mientras que el azabache más “blando” lo hizo en presencia de agua dulce. El azabache más duro es utilizado en joyería y posee mayor valor comercial dado que las piezas resultantes son más compactas y de mayor durabilidad. El azabache de Asturias, uno de los pocos lugares del mundo donde se obtiene azabache de buena calidad, procede de unos árboles jurásicos pertenecientes al grupo de protopináceas que se extinguieron

hace unos 65 millones de años, al mismo tiempo que los dinosaurios. Su equivalente en nuestros días sería el ciprés. No obstante, otros tipos de azabache como el de Whitby del condado de Yorkshire, Inglaterra (otro de los lugares donde se extrae azabache de gran dureza y por tanto de buena calidad) parece tener su origen en plantas del tipo de la araucaria.



Azabache



*Fragmento de azabache
visto en un microscopio
electrónico*

El azabache se localiza en pocos puntos del planeta. La zona de la costa de Asturias que va desde Gijón hasta Colunga, especialmente en la zona de La Marina (Villaviciosa), es la que guarda mayores depósitos e, históricamente, donde se concentraron casi todas las explotaciones de azabache de España. Este azabache posee un color negro intenso, así como una textura y dureza incomparables, por lo que se le considera, junto con el extraído en Whitby (Inglaterra), el de mayor calidad del mundo. En realidad ambos lugares reivindican tener el azabache de mejor calidad en base a su dureza, densidad, grado de compactación, color, brillo, finura después del pulido, etc. Hoy no se explota ninguna mina en Asturias; la última mina cerrada fue la de Oles (Villaviciosa). En la actualidad, los artesanos se surten de las piedras que recogen en las viejas escombreras. Otros azabaches, de menor calidad

para su uso en joyería, proceden de Teruel (Cretácico), Francia, Alemania, Portugal, Turquía (Cretácico), Estados Unidos y Venezuela. Según una clasificación de Valentín Monte Carreño, autor del libro *El azabache*, existen tres tipos de azabache: el superior o bueno, que debe presentarse en bloque compacto, sin vetas y limpio de toda impureza; el regular o intermedio, con vetas o impurezas, como arenisca, carbonato o pirita, y el malo o carbón, que apenas sirve para nada porque se resquebraja al secar. Existen además numerosas falsificaciones hechas de resinas, cristal o plásticos, u otros tipos de materiales carbonosos que no son azabache. Así, para distinguir si una pieza es de azabache se puede pasar una esquina de la pieza de azabache sobre un tramo de lija. El azabache deja una línea marrón-pardo oscuro; lo que es plástico, resina o cristal deja una línea blanca. La distinción del azabache de otros tipos de materiales carbonosos es más complicada para los no especialistas.

El azabache en la historia

En el mundo antiguo se lo llamó *succinum nigrum*, equiparándosele al ámbar o *succino*, con quien aparece asociado frecuentemente. También se le llamó *Lapis Gagates*, denominación utilizada entre otros por el naturalista Plinio y por San Isidoro, autor que, en su obra *Las Etimologías*, aclara la razón: “*Gagates es una piedra hallada primeramente en Licia, Asia Menor (Turquía) que es arrojada a la orilla por el río Gagas, y de ahí le viene el nombre; hay muchas en Bretaña. Es una piedra negra, plana, suave, de color negro que arde aplicada al fuego; no se borran los escritos hechos*

con el barro de esta piedra; cuando está encendida hace huir a las serpientes, señala la presencia de los demoníacos y descubre la virginidad". El nombre Gagas dio origen al término francés *jais* o *jaiet*, del que derivó el inglés *jet*. La palabra española *azabache* procede del nombre árabe *as-saba* (جسسلا). El término árabe ha dado lugar también al portugués *azeviche* y al gallego *acibeche*. En Asturias se le llama también *acebache* y en Aragón *azabaya*, mientras que en catalán se le denomina *gaieta*, derivado también de Gagas.



*Higa o cigua
de azabache*

Explotado desde hace miles de años, debido a su escasez y al intenso color negro que adquiere una vez pulimentado, fue considerado una piedra semipreciosa y tuvo la consideración de sustancia mágica. Se ha encontrado azabache en restos neolíticos, en túmulos y bajo dólmenes. En algunos de ellos se recuperaron más de cien cuentas de azabache, lo que confirma que esta madera fósil era una posesión de mucho valor a la que se atribuía un innegable carácter protector ya hace varios miles de años. Las joyas de azabache fueron muy apreciadas por los egipcios, fenicios, etruscos, romanos y los vikingos. Aunque

la pieza más antigua localizada hasta la fecha, y excepcional en el contexto europeo, es una cuenta de collar recuperada en las excavaciones arqueológicas de la cueva de Las Caldas (Oviedo),

en un nivel de ocupación del Solutrense superior, cuya antigüedad se remonta a unos 19 000 años.

Pese a ser relativamente duro, es un material muy frágil, por lo que su extracción siempre ha sido artesanal, siendo de talla difícil cuando se intentan esculpir figuras con abundantes detalles y calados. Se trabaja con navajas barberas, lima y torno, adquiriendo mediante una pulimentación adecuada un brillo intenso que no decrece con el paso del tiempo. Constituyó la base de la joyería popular de buena parte de la Península Ibérica. Fue labrado en forma de conchas e imágenes, y símbolo de las peregrinaciones jacobeanas. Es considerado como el talismán del Camino de Santiago, el protector del peregrino. De azabache fueron los amuletos más utilizados por todas las clases sociales, siendo quizá el más popular la higa (puño cerrado en el que el dedo pulgar sobresale entre el índice y el corazón), que fue utilizada como defensa contra el mal de ojo.

¿Un castigo para los niños malos?

La tradición dice que los Reyes Magos dejan carbón, en vez de juguetes, a los niños que se han portado mal durante el año. Así es como los Reyes Magos se burlaban de los niños malos, dejándoles algo que ya podían encontrar en la chimenea de su casa. Con el paso de los años, el carbón se sustituyó por carbón de azúcar, una golosina que presenta el aspecto del carbón natural. Incluso es costumbre regalar carbón dulce a los niños que se han portado bien, como recordatorio o advertencia de lo que les puede pasar si durante el año siguiente no se comportan como deben.

El origen de esta tradición parece estar en el Carbonilla, un personaje de la mitología de Navidad. Este, supuestamente, sería uno de los pajes de los Reyes Magos, encargado de vigilar a los niños durante todo el año para saber si han sido buenos o malos. Carbonilla sería el encargado de decir a los



Carbón dulce hecho de azúcar

Reyes Magos, y con el paso de los años también a Santa Claus, qué niños merecían juguetes y cuáles no. Por eso, cada vez que un niño se portaba mal, los padres le advertían de que en lugar de los Reyes o Santa Claus, le visitaría Carbonilla y le traería carbón en lugar de sus juguetes.

En Italia, existe la leyenda de la bruja Befana. La tradición la sitúa barriendo su casa con su escoba cuando pasaron los Reyes Magos hacia Belén y la invitaron a ir con ellos. Ella no los acompañó y, como muestra de arrepentimiento, la bruja está en continua búsqueda del niño Jesús. En las casas italianas cuelgan un calcetín en la chimenea y la Befana lo llenará de regalos si los niños se han portado bien, o de carbón, si su comportamiento no ha sido el adecuado.

En la zona de Lesaka, en Navarra, existía la tradición del Olentzero, un carbonero que vivía en el monte y al que no le gustaban nada los niños. En el siglo XX la figura de Olentzero incorporó elementos de las tradiciones de Papá Noel/Santa Claus y de los Reyes Magos, convirtiéndose en un personaje

que el día de Navidad trae regalos a los niños de muchas familias de Navarra y el País Vasco.

Otra explicación de esta tradición es que en un primer momento los obsequios de los Reyes Magos se limitaban a necesidades de la vida cotidiana, las cuales incluían el carbón. Así, Melchor se encargaba de regalar ropa o zapatos; Gaspar repartía golosinas, requesón, miel o frutos secos y Baltasar cumplía la función de malo del grupo, castigando a los niños que se habían portado mal dejándoles carbón o leña.

La tragedia del Maine. Más se perdió en Cuba

En la noche del 15 de febrero de 1898 el acorazado norteamericano USS Maine, fondeado en La Habana, fue víctima de una violenta explosión. El navío se hundió en la rada, muriendo 266 hombres. La prensa norteamericana, bajo la consigna *Remember the Maine. To hell with Spain*, instigó a la opinión pública norteamericana, acusando a los españoles de haber colocado una mina bajo el casco de la nave. Así, el acto sirvió de pretexto a la entrada a la guerra de Estados Unidos contra España, y a la renuncia a la soberanía sobre las últimas colonias españolas: Cuba, Puerto Rico, Filipinas y la isla de Guam. A fin de determinar las causas de la explosión, se crearon dos comisiones de investigación, una española y otra norteamericana. Curiosamente no se consultaron expertos externos e independientes, omitiéndose también ciertas opiniones de oficiales estadounidenses como el ingeniero jefe de la Armada, Melville, para quien era probable que la causa de la explosión fuera el estallido fortuito de los paños de munición; o la del experto en municiones de la armada, Philip

Alger, que sostenía que la causa probable era un incendio en los pañoles de carbón cuya combustión habría provocado la deflagración de la munición. De hecho, la combustión espontánea de las carboneras y los incendios por esta causa eran por aquel entonces uno de los principales problemas de la armada de los Estados Unidos, que en los últimos años había sufrido cerca de 20 grandes y pequeños incendios en sus buques.

\$50,000 REWARD.—WHO DESTROYED THE MAINE?—\$50,000 REWARD

EDITION FOR GREATER NEW YORK

NEW YORK JOURNAL
AND ADVERTISER.

WED. 3:37 P.M. SAT. FEB. 12, 1916. NEW YORK, THURSDAY, FEBRUARY 11, 1916.—10 PAGES. PRICE ONE CENT.

DESTRUCTION OF THE WAR SHIP MAINE WAS THE WORK OF AN ENEMY

\$50,000!
\$50,000 REWARD!
For the Detection of the Perpetrator of the Maine Outrage!

Assistant Secretary Roosevelt Convinced the Explosion of the War Ship Was Not an Accident.

\$50,000!
\$50,000 REWARD!
For the Detection of the Perpetrator of the Maine Outrage!

The Journal Offers \$50,000 Reward for the Conviction of the Criminals Who Sent 258 American Sailors to Their Death. Naval Officers Unanimous That the Ship Was Destroyed on Purpose.



NAVAL OFFICERS THINK THE MAINE WAS DESTROYED BY A SPANISH MINE

NAVAL OFFICERS THINK THE MAINE WAS DESTROYED BY A SPANISH MINE. The United States Navy has received reports from the Spanish fleet that the Maine was destroyed by a mine. The Spanish fleet is now in the Gulf of Mexico. The United States Navy is now searching for the mine. The Spanish fleet is now in the Gulf of Mexico. The United States Navy is now searching for the mine.

Por su parte, la comisión española concluía que la explosión se debió a causas internas. No podía ser una mina, ya que no se vio ninguna columna de agua. Tampoco había peces muertos en el puerto, lo que es normal en las explosiones externas. En 1911, otra comisión americana examinó los restos refluados del Maine para llegar a la misma conclusión que la anterior. En

1975, una investigación llevada a cabo por el almirante Hyman Rickover examinó los restos recuperados en 1911 y concluyó que no había evidencias de una explosión externa y que la causa más probable del hundimiento era la combustión interna y accidental de una carbonera, lo que a su vez habría producido el recalentamiento y la explosión de los depósitos de municiones contiguos.

Cuando el carbón se almacena en pilas, y en determinadas circunstancias, puede llegar a producirse el fenómeno de la combustión espontánea. La oxidación del carbón es un fenómeno que se produce de forma natural cuando este se expone a la atmósfera. Así, el carbono reacciona con el oxígeno del aire: $C + O_2 \rightarrow CO_2$, esta es una reacción exotérmica que poco a poco va aumentando la temperatura de la pila de carbón pudiendo llegar a alcanzarse una temperatura crítica, en la que la oxidación es lo suficientemente rápida para que se produzca el autoencendido del carbón. Los tamaños de partícula pequeños y los ambientes calurosos favorecen la combustión espontánea de las pilas de carbón.

Por otro lado, cuando en ambientes cerrados se da una acumulación de polvos combustibles sólidos finamente divididos en partículas como la harina, el aserrín o el polvo del carbón, puede producirse un incendio o una explosión. Para que tenga lugar una explosión de polvo se requiere una serie de condiciones satisfechas simultáneamente: (i) un polvo combustible, (ii) un tamaño de partículas que permita la propagación de la llama ($< 0,5$ mm), (iii) una atmósfera con oxígeno suficiente para mantener la combustión, (iv) una nube de polvo con una concentración dentro del rango de

explosividad, (v) una fuente de ignición con energía suficiente para la ignición (por ejemplo una chispa). Una vez que se produce la explosión inicial, la presión del estallido puede levantar polvo acumulado en otras superficies, lo que frecuentemente causa explosiones secundarias. El polvo de carbón da una explosión más violenta cuanto mayor es el contenido de volátiles. A partículas más finas corresponde mayor área superficial y mayor explosividad. El límite inferior de explosividad es la concentración mínima de polvo para que se produzca una explosión y sus valores varían de 10 a 500 g/m³.

El mechero de Saús

En la pequeña localidad asturiana de Saús, en el concejo de Siero, se encuentra un llamativo fenómeno natural conocido como “el mechero de Saús”, que consiste en una llama que surge entre varias rocas y que permanece encendida desde el año 1979, cuando se produjo un incendio en la zona que provocó la combustión de los gases - posiblemente metano (grisú) - que emanan de una veta subterránea de carbón. Desde entonces, el mechero de Saús permanece ardiendo, con llamas que, en los momentos de mayor intensidad, pueden acercarse al metro de altura.



Los incendios en las minas de carbón pueden tener un origen natural (rayos, por ejemplo) o ser originados por la actividad humana. Son altamente contaminantes y responsables de una parte muy importante de las emisiones de CO₂ y otros contaminantes. Se extienden por todas las regiones del mundo en las que abunda el carbón: Australia, Canadá, China, Alemania, India, Indonesia, Nueva Zelanda, Noruega, Sudáfrica, Estados Unidos... Solo en China, existen más de cien minas de carbón que están ardiendo en la actualidad.

Incendios más importantes en minas de carbón son el de Mount Wingen (Burning Mountain), Nueva Gales del Sur (Australia), que se estima que lleva ardiendo unos 6000 años. El frente avanza aproximadamente un metro por año. En septiembre de 2007 se apagó un incendio en la mina de Rujigou (China) que llevaba ardiendo 180 años. Al parecer, el incendio fue provocado en el siglo XIX por unos mineros descontentos con su capataz. En Centralia, PA (EE.UU.) un incendio en un basurero en 1962 hizo arder una beta de carbón situada debajo y que no ha podido apagarse hasta la fecha. Esto obligó a abandonar Centralia, que entonces contaba con más de 1000 habitantes, haciendo que hoy en día sea un “pueblo fantasma”.

¿Es cierto que una central térmica de carbón da lugar a más emisiones radiactivas que una central nuclear?

Se ha dicho que, por unidad de energía producida, una central térmica de carbón emite, principalmente en las cenizas

volantes, una cantidad de radiactividad 100 veces superior a la que emite una central nuclear de fisión. ¿Es esto cierto?

En general, podría decirse que en el carbón mineral existe una cantidad importante de material radiactivo natural. Una central térmica típica de 1000 MW consume diariamente unas 10 000 toneladas de carbón mineral, que contienen uranio-238 (U-238), torio-232 (Th-232) y los isótopos radiactivos producto de la descomposición de estos elementos. Hay además otros isótopos radiactivos como el potasio-40 (K-40). En total, una central térmica de 1000 MW vendría a producir unos 40 kilos diarios de material radiactivo, de actividad variable, de los cuales un 1% se encuentra en las cenizas volantes, quedando el resto en las escorias. No obstante, las centrales térmicas modernas poseen, o deberían poseer, sistemas para capturar la mayor parte de las cenizas volantes. Estas cenizas, al igual que las escorias, deberían gestionarse teniendo en cuenta esta particularidad. Por ejemplo, evitando su apilamiento cerca de corrientes de agua. Por otro lado, las centrales nucleares prácticamente no presentan emisiones radiactivas, dado que, por ley, todos los residuos radiactivos deben ser convenientemente manejados y almacenados. Así pues, suponiendo que las centrales estén bien gestionadas, las emisiones de radiactividad deberían ser prácticamente inexistentes en ambos casos. Sin embargo, si el control y la gestión de las cenizas producidas en una central térmica no



fuese el adecuado, cosa relativamente frecuente hace algunos años y que en la actualidad podría suceder en algunos países en vías de desarrollo, sí que podría darse el caso de que la radiactividad emitida por una central térmica de carbón fuese muy superior a la emitida por una central nuclear. Siempre y cuando esta última cumpla estrictamente la legislación. Esto, salvo caso de accidente, resulta más que probable, dado que los controles de emisiones radiactivas son mucho más estrictos y rigurosos que aquellos a los que están sujetos las centrales térmicas. De hecho, la afirmación inicial podría plantearse diciendo que una central nuclear, bien gestionada, da lugar a menos emisiones radiactivas que una central térmica de carbón. En cualquier caso, si bien las emisiones radiactivas potenciales no son en absoluto despreciables, tampoco puede decirse que sean extremadamente elevadas, produciendo una perturbación de la radiactividad natural medioambiental apenas perceptible y siendo el riesgo asociado a estas emisiones no mayor que el asociado a la radiactividad natural. Sin embargo, y dada la gran cantidad de carbón que se quema en una central térmica, el problema podría radicar en la acumulación de especies radiactivas a lo largo de varios años de emisiones.

El micrófono de carbón

El micrófono de carbón, también denominado micrófono de botón del carbón o transmisor de carbón, consiste en un compartimento que contiene dos placas de metal separadas por gránulos de carbón (normalmente antracita o a veces grafito). La placa externa actúa como tapa y diafragma, de

forma que cuando las ondas acústicas inciden en esta fina lámina metálica, esta empuja a las partículas de carbón, provocando una variación en la presión de los gránulos, lo que a su vez produce un cambio de la resistencia eléctrica entre las placas. Una presión más alta compacta los gránulos, disminuyendo la resistencia eléctrica y viceversa. Al hacer pasar corriente eléctrica entre estas dos placas, esta sufre una variación en su intensidad debido al cambio de la resistencia entre las placas. Estas diferencias en intensidad de corriente se pueden transmitir mediante un sistema de teléfono, o bien utilizarse en otros sistemas electrónicos que transforman el sonido en una señal eléctrica.



Despiece de un micrófono de carbón y detalle del compartimento que contiene los granos de carbón

El micrófono de carbón (llamado entonces transmisor) fue patentado por Thomas Alva Edison en marzo de 1878. No obstante, Emile Berliner también solicitó dos patentes relacionadas con esta invención en junio de 1877 y agosto de 1879. Ambos se embarcaron en una larga batalla legal sobre los

derechos de patente en la que finalmente Edison obtuvo todos los derechos de la invención del micrófono de carbón.

Este tipo de micrófonos han sido muy utilizados en telefonía y porteros automáticos porque su respuesta en

frecuencia, entre 200 y 3000 Hz, es ideal para captar la voz humana. Sin embargo, su uso en otras aplicaciones como la radiodifusión ha sido más bien escaso, ya que generan bastante ruido y su respuesta en frecuencia es irregular. Por el contrario, sus principales ventajas son su gran sensibilidad, baja impedancia y bajo precio. Aunque aún siguen siendo utilizados, su fabricación prácticamente ha desaparecido debido a que desde los años 80 los micrófonos de carbón han venido siendo reemplazados casi por completo por otros tipos de micrófonos más modernos.

Carbonización, coquización, grafitización

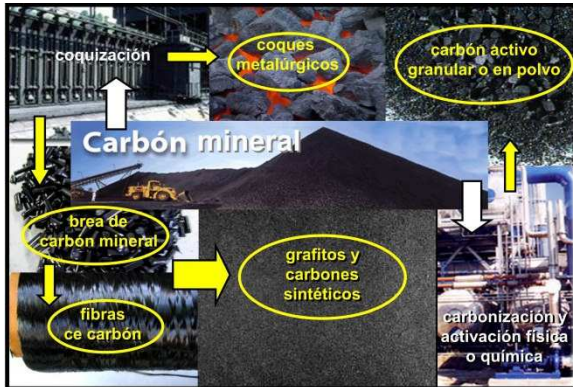
El proceso de calentamiento de materiales orgánicos en ausencia de aire se denomina pirólisis o carbonización. Por lo general, se utiliza el término pirólisis cuando dicho proceso se enfoca a la obtención de los gases y aceites que se producen, y carbonización cuando (como en el caso del carbón vegetal) el proceso se dirige hacia la obtención del producto sólido resultante (carbonizado).

La carbonización de cierto tipo de carbones minerales (carbones coquizables; esto es, carbones bituminosos o hulla), o mezclas de estos carbones, producen el coque. En este caso el proceso de carbonización es denominado coquización. La coquización se diferencia de la carbonización en que durante el proceso de calentamiento en atmósfera inerte de los carbones coquizables o de cualquier otra sustancia que dé lugar a un coque, como por ejemplo la brea u otros materiales termoplásticos, se pasa por un estado fluido transitorio durante un determinado intervalo de temperaturas que varía según el material que se esté coquizando (en el caso de los carbones coquizables, este intervalo puede oscilar entre los 350 y 500 °C). Pasado el intervalo fluido (también denominado etapa plástica), se forma el semicoque. Al seguir aumentando la temperatura, sigue el desprendimiento de gases hasta que finalmente se forma el coque. Durante la etapa fluida, o plástica, se produce una total reorganización en la

microestructura del material. Los carbonizados presentan una microestructura desordenada y, salvo raras excepciones, no pueden ser grafitizados. Por el contrario, los coques presentan una microestructura más ordenada y pueden ser grafitizados cuando se someten a un proceso de calentamiento a temperaturas muy elevadas, del orden de 3000 °C, en atmósfera inerte, denominado grafitización.

Precursores de los materiales de carbono

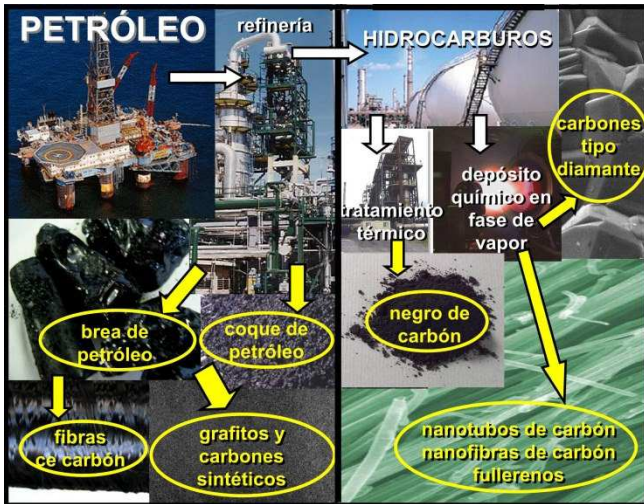
El petróleo y algunos hidrocarburos derivados del mismo (GLP y aceites), el carbón mineral, los residuos vegetales y las resinas, plásticos, polímeros y fibras sintéticas son las principales fuentes para la obtención de carbones de muy diversa índole, los cuales dan lugar a una gran variedad de materiales de carbono.



El carbón mineral como fuente de distintos carbones tecnológicos



La biomasa como fuente de distintos carbones tecnológicos



El petróleo como fuente de distintos carbones tecnológicos



Productos químicos como fuentes de distintos carbones tecnológicos

Génesis, 6, 14. La primera referencia bibliográfica



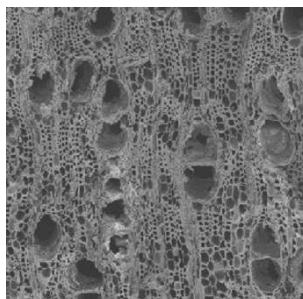
La referencia bibliográfica más antigua sobre materiales carbonosos se encuentra en la Biblia. Concretamente en Génesis 6:14, donde se relata la construcción del arca de Noé. En ella Yahvé dice a Noé: *“Haz compartimentos al arca, y cúbrela con brea por dentro y por fuera”*. El calafateo, que es como se denomina a esta operación, sirve para impermeabilizar las embarcaciones hechas de madera y ha llegado hasta nuestros días con pocas variaciones. Otro ejemplo de calafateo lo encontramos también en Éxodo 2:3 cuando se describe cómo Moisés es arrojado al Nilo en una cesta que también se impermeabiliza con brea: *“No pudiendo ocultarlo más tiempo, tomó una arquilla de juncos y la recubrió con asfalto y brea”*. La brea no solamente era utilizada para estos menesteres; su uso como material de construcción está también descrito en la Biblia. Así, en Génesis 11:3 y haciendo referencia a la construcción de la Torre de Babel, se menciona: *“Entonces se dijeron unos a otros: Venid, hagamos adobes y quemémoslos con fuego. Así empezaron a usar ladrillo en lugar de piedra, y brea en lugar de mortero”*, en lo que parece la fabricación de un primitivo *composite*. Vemos pues la importancia de la brea en la antigüedad, que debió ser muy abundante en ciertos sitios como, por ejemplo, Sodoma y Gomorra: *“El valle de Sidim estaba lleno de pozos*

de brea. Y al huir los reyes de Sodoma y de Gomorra, cayeron en ellos” (Génesis 14:10). La brea no es el único material carbonoso que se cita en la Biblia. Así, el negro de carbón en su versión más arcaica, es decir el hollín, es utilizado por Moisés, a instancias del mismo Yahvé, como “arma química”: *“Tomad puñados de hollín de un horno, y que Moisés lo esparza hacia el cielo, en presencia del faraón. Este se convertirá en polvo sobre toda la tierra de Egipto, y ocasionará sarpullido que producirá úlceras, tanto en los hombres como en los animales, en toda la tierra de Egipto.”* (Éxodo 9:8 y 9). Muy inquietantes resultan también algunas de las referencias que en la Biblia se hacen al carbón, como por ejemplo: *“Humo subió de su nariz; de su boca salió fuego consumidor, y carbones encendidos saltaban de él”* (Salmos 18:8), refiriéndose a Yahvé. Sin embargo, el carbón también ha servido para ilustrar buenos consejos en forma de proverbios: *“El carbón es para las brasas; la leña para el fuego; y el hombre rencilloso para provocar peleas”* (Proverbios 26:21).

El carbón vegetal no es un vegetal

El carbón vegetal es un producto sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono (del orden del 80%). Se produce por calentamiento en ausencia de aire (hasta temperaturas de 400 a 700 °C) de madera y otros residuos vegetales. El poder calorífico del carbón vegetal oscila entre 29 000 y 35 000 kJ/kg, y es muy superior al de la madera, que oscila entre 12 000 y 21 000 kJ/kg.

Durante la carbonización de la madera se producen una serie de cambios químicos y pueden distinguirse tres fases claramente diferenciadas. En una primera etapa, hasta alcanzar los 170 °C, se produce fundamentalmente la deshidratación de la madera y la destilación de algunos aceites esenciales; unido todo ello a una pequeña degradación de la madera. Hasta los 270 °C hay un abundante desprendimiento de gases (CO_2 y CO principalmente) y de líquidos acuosos. En la última etapa, hasta alcanzar la temperatura final en torno a los 600 °C, en que se produce la pirólisis o carbonización, propiamente dichas, el desprendimiento de sustancias volátiles es máximo. El residuo sólido resultante es el carbón vegetal. El rendimiento en carbón del proceso puede variar dentro de límites muy amplios dependiendo del tipo de madera, de su contenido en agua y de las condiciones en que se haya operado en la carbonización (tiempo de calentamiento y temperatura alcanzada). Es deseable que el contenido en humedad de la madera sea lo más bajo posible y, en cualquier caso, no superior al 15 - 20%. Dado que la madera fresca recién cortada contiene un 40 - 60% de agua se aconseja una desecación previa de la misma, bien al aire o por cualquier otro procedimiento. Si se parte de madera seca, puede obtenerse un rendimiento de entre el 25% y el 33% de carbón vegetal.



En esencia, para obtener carbón vegetal a partir de la madera lo que se hace es crear una barrera física que aísla la

madera del exterior para evitar que al calentarla el oxígeno del aire la incendie. De este modo se logra la carbonización. Las diferentes tecnologías que se utilizan se basan en: a) las distintas formas de crear esta barrera física, que puede ser de tierra, ladrillos, cemento armado y metal; b) las distintas formas de secar y calentar la madera, si el calor empleado está originado por la propia madera de la carga o por algún otro combustible que se separa de la carga de madera que va a ser carbonizada; c) la naturaleza continua o discontinua del proceso de producción. En los procesos continuos, el carbón se obtiene sin interrupción, frente a los procesos discontinuos en los que transcurren varios días entre una obtención de carbón y la siguiente obtención. Las tecnologías continuas y de alta producción, con sistemas de control más o menos sofisticados, se denominan industriales a diferencia de las artesanales como la parva tradicional, que es un proceso discontinuo.

Usos del carbón vegetal



Bisonte pintado con carbón vegetal en la cueva de la Covaciella (Asturias)

El carbón vegetal es quizá el primer material de carbón utilizado por el hombre y su uso se remonta probablemente al mismo momento en que se comienza a utilizar el fuego; dado que los trozos de madera carbonizada que quedarían en algunas

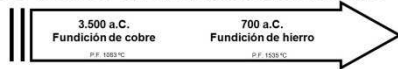
hogueras pueden considerarse un carbón vegetal

rudimentario. De hecho, existen pruebas de que en muchas pinturas rupestres de hace más de 15 000 años el carbón vegetal se utilizaba para marcar el contorno de las figuras, además de usarse como pigmento de color negro cuando se mezclaba con grasa, sangre o cola de pescado.

Otro uso fundamental del carbón vegetal en la historia de la humanidad es su empleo en la metalurgia. La metalurgia del hierro, comenzada ya unos 1200 años a. C. y que se desarrolla en Europa durante la “edad del hierro”



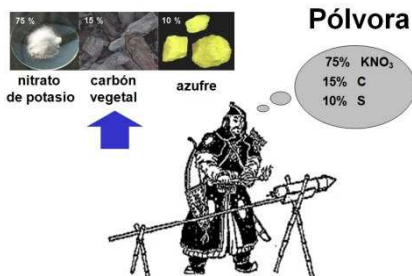
Uso del carbón vegetal para la fundición de metales



(700 a. C. hasta el 68 d. C.), no habría sido posible sin el carbón vegetal ya que las elevadas temperaturas que se requieren para fundir los minerales no pueden alcanzarse utilizando simplemente madera o los combustibles de la edad del hierro. Además, el carbono que contiene el carbón vegetal actúa como reductor de los óxidos del metal que forman los minerales y, con la técnica apropiada, parte de este carbono puede alearse con el hierro para dar lugar al acero, mucho más duro que el hierro, lo cual fue fundamental en el desarrollo de armas y herramientas más resistentes. El uso del carbón vegetal en metalurgia ha perdurado hasta nuestros días, aunque otros combustibles como el coque metalúrgico lo han reemplazado casi por completo en la actualidad, y especialmente en países con abundantes recursos forestales y economías en desarrollo, existe un resurgimiento del uso del

carbón vegetal en la metalurgia dado que, además, su uso representa, al menos en principio, un menor impacto ambiental que el del coque metalúrgico.

El carbono se puede encontrar en las aleaciones hierro-carbono, tanto en estado ligado (Fe_3C , cementita), como en estado libre (C). De una forma genérica, al aumentar el porcentaje en carbono, las aleaciones Fe-C aumentan su dureza y rigidez y pierden ductilidad. Se considera que una aleación de hierro es un acero si contiene menos de un 2% de carbono. Si el porcentaje es mayor, recibe el nombre de fundición.



Otra de las aplicaciones del carbón vegetal es la fabricación de pólvora. La pólvora negra se compone de un 75% de salitre (nitrato de potasio), un 12% de azufre y un 13% de carbón vegetal. Estos

ingredientes al quemarse producen un gas que tiende a ocupar un volumen 400 veces mayor que la mezcla original, produciendo una fuerte presión en las paredes del recipiente que los contiene.

Dado que el carbón vegetal es un material poroso, otra de sus aplicaciones es su uso como adsorbente. Así, se sabe que la madera carbonizada se usaba como adsorbente médico en el antiguo Egipto y que en el año 400 a. C. Hipócrates recomendaba filtrar con carbón el agua para beber. El carbón

vegetal no posee una textura porosa tan desarrollada como la de los carbones activados. No obstante, resulta más simple y barato de producir, por lo que a pesar de ser un adsorbente relativamente mediocre, si se compara con los carbones activados, se utiliza en determinadas aplicaciones que no requieren de una gran capacidad de adsorción. También se usa para adsorber moléculas de un tamaño relativamente grande (como los colorantes), dado que la mayor parte de la porosidad de los carbones vegetales cae dentro del rango de los macroporos (anchura del poro > 50 nm). Una aplicación relativamente importante es la clarificación de bebidas alcohólicas como el vino, cerveza, whisky, etc.

El carbón vegetal se usa mayoritariamente como combustible, no solo de uso doméstico sino también industrial, especialmente en los países en vías de desarrollo. El carbón vegetal es una fuente de energía renovable, lo que aumenta su interés como combustible. No obstante, la producción de carbón vegetal por métodos artesanales tiene un importante impacto ambiental que es necesario disminuir mediante el uso de métodos industriales con control de emisiones.

El carbón activo

El carbón activo, o carbón activado, es un material de carbono poroso, un material carbonizado que se ha sometido a reacción con gases oxidantes (como CO_2 o aire) o con vapor de agua (proceso de activación física o térmica); o bien a un tratamiento con adición de productos químicos (proceso de activación química), como el ácido fosfórico (H_3PO_4) o el hidróxido de potasio (KOH), durante (o después) de un

proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad. Los carbones activados poseen una capacidad de adsorción elevada y se utilizan para la purificación de líquidos y gases. Mediante el control adecuado de los procesos de carbonización y activación se puede obtener una gran variedad de carbones activados que posean diferentes distribuciones de tamaño de poros.



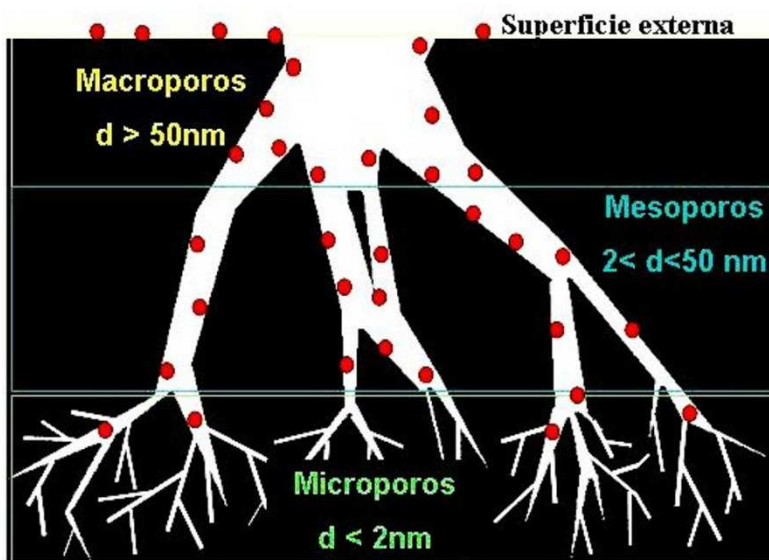
Los carbones activos presentan una gran porosidad capaz de “atrapar” una gran cantidad de moléculas adsorbiéndolas en su superficie. Unos pocos gramos de carbón activo pueden tener un área mayor que la de un campo de fútbol.

Prácticamente cualquier material orgánico con proporciones relativamente altas de carbono es susceptible de ser transformado en carbón activo. Los carbones activos obtenidos industrialmente pueden provenir de madera y residuos forestales u otros tipos de biomasa, turba, lignito y otros carbones minerales, así como de diferentes polímeros y fibras naturales o sintéticas. Existen, no obstante, algunas limitaciones. Así, desde un punto de vista estructural los carbones activados son carbones muy desordenados e isotrópicos. Por tanto, no serán adecuados para preparar carbones activados aquellos materiales carbonosos que pasen

por un estado fluido o pseudofluido durante su carbonización; dado que durante la resolidificación de esta fase suelen formarse estructuras ordenadas en los carbones resultantes. No resultan adecuados, por tanto, los carbones coquizables, salvo que se eliminen sus propiedades coquizantes, mediante una oxidación previa, por ejemplo. Del mismo modo, tampoco resultan adecuados los residuos termoplásticos. Los factores que hay que tener en cuenta para elegir un precursor adecuado son: buena disponibilidad y bajo coste, bajo contenido en materia mineral y que el carbón resultante posea unas buenas propiedades mecánicas y capacidad de adsorción. Los residuos de madera, las cáscaras de coco y frutos secos, así como las semillas de algunas frutas junto con los carbones minerales y el coque de petróleo, son los precursores más usados.

Los carbones activados pueden presentar elevadas superficies específicas, del orden de $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ e incluso llegar a los $3000 \text{ m}^2/\text{g}$. Los elevados valores de superficie específica se deben en gran medida a la porosidad que presentan los materiales carbonosos, siendo los microporos los que mayor contribución tienen en la superficie específica.

El carbón activado se utiliza en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas, en la potabilización del agua, en filtros de purificación de gases, en controladores de emisiones de automóviles, en sistemas de separación de gases, en máscaras antigás, en medicina para casos de intoxicación, clarificación de jarabe de azúcar, purificación de glicerina, en la extracción de metales, como por ejemplo el oro, y en un gran número de aplicaciones.



El componente principal de los sistemas de depuración de agua es un filtro de carbón activo que adsorbe las sustancias nocivas.





Tanto a nivel doméstico como a escala industrial, es frecuente el uso de sistemas de depuración de aire basados en el uso de carbones activos.



El carbón activo también se utiliza en medicina para combatir las intoxicaciones leves, flatulencias, aerofagias, mal aliento, etc.

Breve historia del carbón activo

El uso de los materiales de carbono se pierde en la historia, de forma que es prácticamente imposible determinar con exactitud cuándo el hombre comenzó a utilizarlos. Lo cierto es que antes del uso de lo que en la actualidad denominamos carbones activos, es decir, carbones con una estructura porosa altamente desarrollada, ya se emplearon como adsorbentes el carbón vegetal o simplemente maderas parcialmente desvolatilizadas o quemadas.

Los primeros usos de estos primitivos carbones activos, generalmente preparados a partir de madera carbonizada (carbón vegetal), parecen haber tenido aplicaciones médicas. Así, en Tebas (Grecia) se halló un papiro que data del año 1550 a. C. en el que se describe el uso de carbón vegetal como adsorbente para determinadas prácticas médicas. Con posterioridad, en el año 400 a. C., Hipócrates recomienda filtrar el agua con carbón vegetal para eliminar malos olores y sabores y para prevenir enfermedades. En relación al tratamiento del agua con carbón activo, se sabe que ya 450 años a. C. en los barcos fenicios se almacenaba el agua para beber en barriles con la madera parcialmente carbonizada por su cara interna. Esta práctica se continuó hasta el siglo XVIII como medio para prolongar el suministro de agua en los viajes transoceánicos. Sin embargo, la primera aplicación documentada del uso de carbón activo en fase gas no tiene lugar hasta el año 1793, cuando el Dr. D. M. Kehl utiliza el carbón vegetal para mitigar los olores emanados por la

gangrena. El mismo doctor también recomienda filtrar el agua con carbón vegetal.

La primera aplicación industrial del carbón activo tubo lugar en 1794, en Inglaterra, utilizándose como agente decolorizante en la industria del azúcar. Esta aplicación permaneció en secreto por 18 años hasta que en 1812 apareció la primera patente. En 1854 tiene lugar la primera aplicación a gran escala del carbón activo en fase gas, cuando el alcalde de Londres ordena instalar filtros de carbón vegetal en los sistemas de ventilación de las cloacas. En 1872 aparecen las primeras máscaras con filtros de carbón activo utilizadas en la industria química para evitar la inhalación de vapores de mercurio.

Sin embargo, el término adsorción no fue utilizado hasta 1881 por Kayser para describir como los carbonizados atrapaban los gases. Aproximadamente por estas fechas R. von Ostrejko, considerado el inventor del carbón activo, desarrolla varios métodos para producir carbón activo tal y como se conoce en nuestros días, más allá de simples carbonizados de materiales orgánicos o del carbón vegetal. Así, en 1901 patentó dos métodos diferentes para producir carbón activo. El primero consistía en la carbonización de materiales lignocelulósicos con cloruros de metales; lo cual resulto la base de lo que hoy en día es la activación química. En el segundo, proponía una gasificación suave de materiales previamente carbonizados con vapor de agua o CO_2 ; es decir una activación física, o mas correctamente térmica.

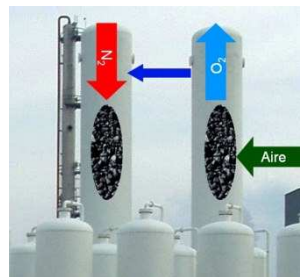
La Primera Guerra Mundial, y el uso de agentes químicos durante esta contienda, trajo como consecuencia la necesidad urgente de desarrollar filtros de carbón activo para máscaras de gas. Sin duda este acontecimiento fue el punto de partida para el desarrollo de la industria de carbón activo y de un buen número de carbones activos usados no solo en la adsorción de gases tóxicos sino en la potabilización de agua. A partir de este momento tuvo lugar el desarrollo de multitud de carbones activos para las aplicaciones más diversas: depuración de gases y aguas, aplicaciones médicas, soporte de catalizadores, etc.

Tamices para separar moléculas

Los tamices moleculares son sólidos porosos que se usan para separar los componentes moleculares de una mezcla. Los materiales más usados como tamices moleculares son las zeolitas y los carbones microporosos; es decir, con poros de diámetro inferior a 2 nanómetros (0,000002 mm). Estos materiales presentan una distribución de tamaños de poro muy estrecha, poseyendo además la característica de diferenciar entre moléculas según sus diferentes dimensiones moleculares. Una de las aplicaciones más importantes de estos materiales es la separación de N_2 y O_2 del aire. Dado que la diferencia en los diámetros cinéticos de estas dos moléculas es de menos de 0,02 nm, es evidente que el diseño de los tamices moleculares requiere de un control muy riguroso del tamaño de poros. Otras importantes aplicaciones industriales de los tamices moleculares son: la purificación de gas natural, obtención de CH_4 de mezclas de gases, recuperación de H_2 de gases de reformado del petróleo y separación/recuperación de

gases a partir de biogás. Los principales componentes que han de ser separados en este tipo de aplicaciones son: CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2 , CO y H_2S .

Los tamices moleculares se emplean por lo general combinados con técnicas de PSA (*pressure swing adsorption*, adsorción por cambio de presión). Básicamente, esto consiste en alimentar con la mezcla de gases una cámara de adsorción rellena con el tamiz molecular, a la vez que se aumenta la presión sobre esta cámara. De esta forma, uno de los gases queda preferentemente adsorbido mientras que el otro gas es arrastrado fuera de la cámara. Cuando esta cámara está saturada, se alimenta una segunda cámara donde se repite el proceso anterior, a la vez que se descomprime la primera cámara, liberándose así el gas retenido, que por lo general vuelve a ser una mezcla de los gases alimentados pero con una concentración mucho mayor en el gas que se desea separar y que es el que se ha adsorbido de forma preferencial. Dependiendo de la eficacia del tamiz molecular, puede ser necesario repetir el proceso sucesivas veces hasta obtener el gas con la pureza deseada.



Hasta en la ropa

También en la industria textil podemos encontrar materiales basados en el carbón. Las plantillas de calzado y la ropa de caza son ejemplos del uso textil del carbón para ocultar

los olores. En Estados Unidos se ha llegado incluso a utilizar el carbón en ropa interior para ocultar los olores de la flatulencia.

Adsorbiendo olores



Plantillas para zapatos que adsorben los malos olores



Ropa de caza que evita desprender olores



Ropa interior que... sin comentarios

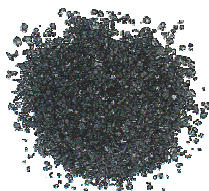
Cómo descubrir huellas dactilares con carbón



Las huellas dactilares son rugosidades con formas arbitrarias que adopta la piel que cubre la yema de los dedos. Están formadas por surcos: montañas y valles. Las “montañas” se llaman crestas papilares y los “valles” surcos interpapilares. En las crestas se encuentran las glándulas que producen el sudor. Este sudor contiene aceite que se desliza hacia los surcos, donde se almacena. Cuando manipulamos objetos con las manos, nuestros dedos dejan marcas de las huellas dactilares que no

son perceptibles a simple vista. Por esta razón, al tocar un objeto con los dedos dejamos minúsculas partículas sobre el mismo, debido a la sudoración, aceites o grasas y otras sustancias almacenadas en los surcos de las huellas dactilares. Estos diminutos residuos pueden dejar impresa una imagen latente de nuestras huellas dactilares, una copia en negativo de los surcos de la huella dactilar. En el caso de que la superficie sea blanca o de color claro, esta imagen latente puede revelarse usando polvo muy fino de carbón activo (para superficies oscuras se podría utilizar talco). El carbón activo se adhiere, por un fenómeno de adsorción, a estas partículas invisibles marcando los contornos de la huella latente de un color negro que resulta visible al contrastar con el color del objeto donde se dejó la huella. Si bien la policía científica usa un instrumental un poco más sofisticado y polvos específicos para diferentes tipos de superficies, el revelado de las huellas dactilares puede hacerse también de forma bastante simple con medios caseros. Para ello necesitaremos carbón activo en polvo; aunque también se puede hacer con hollín, polvo fino de grafito (la mina de un lápiz), o polvo muy fino de cualquier carbón en general.

Sal negra al carbón activado, una delicatessen culinaria



La sal negra está compuesta por carbón vegetal activado y sal. Estos dos compuestos se fusionan mediante un proceso desarrollado, entre 1999 y 2003, por la Hawaii Kai Corporation, y patentado por esta

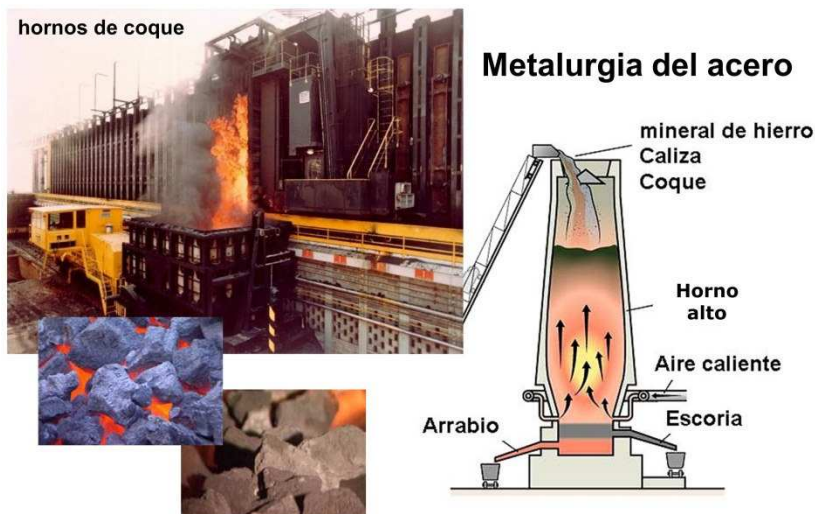
compañía que comercializa el producto con el nombre de *Black Lava*. Esta sal es muy apreciada por chefs de todo el mundo, ya que posee un sabor característico, ligero olor sulfurado y da lugar a una original presentación.

Coque metalúrgico

El coque metalúrgico es el residuo sólido que se obtiene a partir de la destilación destructiva, o pirólisis, de determinados carbones minerales, como las hullas (o carbones bituminosos) que poseen propiedades coquizantes; es decir capacidad de transformarse en coque después de haber pasado por una fase plástica. En la práctica, para la fabricación del coque metalúrgico se utilizan mezclas complejas que pueden incluir más de diez tipos diferentes de carbones minerales en distintas proporciones. Este proceso de pirólisis mediante el cual se obtiene el coque se denomina coquización y consiste en un calentamiento (entre 1000 y 1200 °C) en ausencia de oxígeno hasta eliminar la práctica totalidad de la materia volátil del carbón, o mezcla de carbones, que se coquizan. La mayoría del coque metalúrgico se usa en los altos hornos de la industria siderúrgica para la producción del acero (coque siderúrgico). Dado el gran consumo de coque que es necesario para el funcionamiento de los altos hornos, los hornos de coquización suelen ser una instalación anexa a las industrias siderúrgicas. El coque metalúrgico también se utiliza en la industria de la fundición del hierro (coque de fundición). En general, el coque de fundición suele ser de un tamaño mayor que el siderúrgico.

El primer uso de coque en el horno alto se debió a Abraham Darby en 1709, en Coalbrookdale (Inglaterra). Esta es una

fecha histórica, puesto que la aplicación con éxito del coque en el horno alto fue responsable del desarrollo posterior de la industria del hierro y del acero, y del comienzo de la Revolución Industrial. El proceso primitivo de calentar el carbón en pilas para producir coque permaneció como el más importante durante aproximadamente un siglo. No obstante, un horno con forma de colmena fue desarrollado en 1759 en Newcastle (Inglaterra), siendo este tipo de hornos usado todavía en algunas partes del mundo. Sin embargo, el rápido incremento de la demanda de coque en el siglo XIX dio lugar a la introducción de los hornos de cámara rectangular, capaces de ser descargados utilizando máquinas. En todos ellos se observan las características básicas de los hornos modernos: están contruidos en baterías; poseen cámaras rectangulares separadas por paredes huecas que contienen los canales de calentamiento, en los cuales el gas se quema para calentar el horno; son cargados por una máquina y descargados por una deshornadora mecánica, después de la retirada de las puertas de ambos lados; el gas sale del horno por el tubo montante y se lleva a la planta de subproductos, retornando una parte del mismo a los hornos para su calentamiento. Una batería moderna puede estar formada por unos 70 hornos de coque. Cada horno tiene del orden de 6 m de altura, 450 mm de anchura y 16 m de longitud o fondo. Esto significa unos 37 m³ de volumen y unas 30 t. de carbón por horno.



El coque metalúrgico se emplea en el horno alto para la producción del acero

Coque de petróleo

El coque de petróleo es un producto residual de elevado contenido en carbono, resultante de la pirólisis de las fracciones pesadas obtenidas en el refinado del petróleo, que ha pasado a través de un estado líquido cristalino (también denominado *mesofase*) durante el proceso de carbonización y que está constituido por carbono no grafitico pero grafitizable. Básicamente, se pueden clasificar los distintos tipos de coque de petróleo en cuatro calidades distintas: de combustión, regular, de aguja y de recarburación. La obtención de uno u otro depende, en parte, de las variables operativas, pero sobre todo de las características de los residuos de partida, los cuales tienen distinta procedencia.

El crudo, previamente acondicionado, se somete a una destilación a presión ligeramente superior a la atmosférica en la que se obtienen, además de gases, naftas y otros destilados más pesados, un residuo que contiene la mayor parte del azufre, nitrógeno, metales pesados y fracciones pesadas del petróleo (asfaltenos, resinas, etc) denominado “crudo reducido”. Este crudo reducido suele alimentar una columna de destilación a vacío en la cual se obtienen una serie de fracciones y un nuevo residuo denominado *residuo de vacío*. Estos dos residuos van a dar lugar, dependiendo de las características del crudo de partida, bien al coque de combustión, o bien al regular. En muchas refinerías, con el fin de aumentar el rendimiento en determinadas fracciones ligeras (gasolinas, gasóleo, etc) existe otra serie de procesos como el craqueo catalítico o la pirólisis, los cuales dan lugar a otros residuos, con menos impurezas que los anteriores, denominados *aceite decantado* (el primero) y *fuel-oil de pirólisis* (el segundo). Estos residuos una vez coquizados dan lugar al coque de aguja y al de recarburación, respectivamente. Los residuos anteriormente mencionados se someten a un tratamiento térmico entre 400 y 600 °C, obteniéndose un producto sólido primario, con un contenido en materia volátil de entre un seis y un 20%, que se denomina *coque de petróleo verde*. La técnica de carbonización, o coquización, de residuos de petróleo empleada por casi el 90% de la industria se conoce como *coquización retardada*. También existe la coquización en lecho fluidizado, pero es menos utilizada.

El coque verde obtenido en el proceso de coquización no es, generalmente, utilizable en estas condiciones. Solo para el

coque combustible es suficiente este tratamiento térmico. El coque regular, utilizado en la fabricación de electrodos para la producción de aluminio por medios electrolíticos, debe ser tratado a una temperatura superior (1350 °C aproximadamente) debido a su tendencia a contraerse cuando se le somete a un tratamiento térmico. El coque de aguja utilizado para la fabricación de electrodos de grafito se debe someter a una temperatura de 2600-2800 °C para conseguir un material con las características apropiadas. Este tratamiento térmico más enérgico al que son sometidos los coques verdes se denomina calcinación y da lugar al denominado coque de petróleo calcinado. La calidad final del producto calcinado depende además de la propia calidad del material verde y de las condiciones de calcinación utilizadas, como son la velocidad de producción, la temperatura del horno, el tiempo de residencia y el procedimiento de enfriamiento, que a su vez dependen del equipo de calcinación que se utilice. Los dos equipos utilizables en la calcinación comercial del coque verde son el horno rotatorio y el horno de solera, siendo este último el más utilizado.



Planta de coquización retardada

Imagen procedente de Wikimedia Commons.

Los coques que presentan un mayor valor son el coque de recarburación, utilizado para ajustar el contenido en carbono del acero y por tanto con unas especificaciones muy

restrictivas en cuanto al contenido en impurezas, y el coque de aguja, que debido a sus altas exigencias requiere de materias primas especiales (aceites de decantado) y una selección muy rigurosa de las variables de coquización y calcinación que optimicen la calidad del mismo. En un lugar intermedio se encontraría el coque regular, utilizado en la fabricación de ánodos para la producción de aluminio y con menores exigencias que los anteriores. El coque combustible es el más barato de todos, ya que además de ser el de más baja calidad no se somete al proceso de calcinación y se comercializa en su estado de coque verde.

Brea

La brea es un residuo de la pirólisis de un material orgánico o destilación de alquitranes. Es sólida a temperatura ambiente y está constituida por una



mezcla compleja de muchos hidrocarburos, siendo los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) los que constituyen el grupo más abundante. Las breas presentan un amplio intervalo de ablandamiento en vez de una temperatura definida de fusión. Cuando se enfría el fundido, las breas solidifican sin cristalización.

Existen varios tipos de breas según su origen. La brea de alquitrán de hulla es el residuo de la destilación o tratamiento térmico del alquitrán de hulla. La brea de petróleo es el residuo del tratamiento térmico y destilación de distintas fracciones

del petróleo. La brea vegetal o de biomasa se obtiene a partir de alquitranes de origen vegetal por procedimientos similares a los empleados en la fabricación de breas de alquitrán de hulla o petróleo. La brea sintética se obtiene mediante polimerización de compuestos aromáticos puros como el naftaleno, o mediante pirólisis de polímeros. Su estructura y propiedades dependen del compuesto de partida. La brea de mesofase es un material con las características de un cristal líquido. Está formada por unas unidades básicas con forma de esferas que poseen una estructura similar a la del grafito aunque la forma de apilamiento de los planos grafiticos es muy diferente a la de este. Se obtiene por diversos tratamientos térmicos en los que partiendo de otras breas, con características adecuadas, se consigue separar o concentrar la fracción rica en mesofase. Las breas son pues subproductos de procesos de conversión de carbones, petróleo o biomasa. Es decir, son productos de relativamente poco valor añadido, que sin embargo son los precursores de materiales de carbono con un gran valor añadido.

Las principales materias primas para la fabricación de los materiales de carbono son las breas, principalmente las de alquitrán de hulla y petróleo y sus coques. La transformación de estos precursores en un material de carbón implica un proceso de tratamiento térmico denominado “carbonización”. De las condiciones de este proceso y de las características del precursor dependerán las propiedades o prestaciones del material de carbón resultante. Las breas son también precursores de algunos tipos de fibras de carbono o de grafito. Para la obtención de este tipo de fibras la brea se somete a un

tratamiento térmico para obtener la brea de mesofase. Esta se somete a un hilado para obtener una fibra de brea que se somete a un proceso de tratamiento térmico, en una atmósfera inerte, que puede variar entre 1500 °C y 3000 °C para producir fibras de carbón o grafito, respectivamente.

Los ánodos de carbón para la industria del aluminio se fabrican a partir de coque de petróleo (de menor calidad que para el caso del grafito) y breas, que se usan como ligante. Estos ánodos se consumen progresivamente durante la producción del aluminio, lo que representa un volumen de consumo de este tipo de materiales de carbono de gran importancia a nivel mundial.

Ánodos y electrodos



Breas y coques de petróleo son las materias primas utilizadas en la fabricación de ánodos y electrodos para las industrias metalúrgicas del aluminio y el acero

¿Es posible hacer arder el azúcar?



El carbón mineral, el carbón vegetal y otros materiales de carbono derivados de estos poseen cierta cantidad de materia inorgánica en proporciones casi siempre menores al 10 %. Esta materia inorgánica suele estar compuesta por silicatos, aluminatos y diversas sales de potasio, calcio, sodio, etc., en menor proporción también podemos encontrar algunos metales pesados. En el caso del carbón mineral la materia inorgánica está asociada a la composición de las rocas en las que se encuentra la veta. La materia vegetal precursora de otros carbones también posee sustancias inorgánicas que los vegetales absorben del suelo. Dado que la forma de determinar el contenido en materia inorgánica de un carbón suele ser obteniendo las cenizas resultantes de la calcinación a elevada temperatura, se suele hacer referencia a esta materia mineral como cenizas. La materia mineral, a pesar de encontrarse en bajas proporciones en los carbones, puede tener efectos catalíticos diversos, que en ocasiones pueden ser determinantes en el comportamiento de un carbón en alguna aplicación determinada, de forma particular en aquellas en las que el carbón o material carbonoso intervenga en una reacción química.

Cuando calentamos azúcar en presencia de aire, esta se funde y no arde, ya que su temperatura de fusión está por

debajo de la de ignición. Sin embargo, cuando impregnamos el azúcar en ceniza, algunos elementos contenidos en esta última actúan como catalizadores, disminuyendo la energía de activación necesaria para que tenga lugar la combustión del azúcar con el oxígeno del aire y rebajando su temperatura de ignición por debajo de la de fusión. En estas condiciones, el comportamiento es muy diferente y el azúcar arde en vez de fundir.

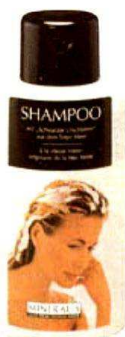
Eres como una mujer perfumadita de brea (jabones, champús y pasta de dientes)

¿A quien se refiere Serrat con “*perfumadita de brea*”? ¿A la mar con olor a brea o a una mujer perfumadita de brea? El caso es que, si bien sobre gustos no hay nada escrito, el olor a brea no es precisamente agradable. Así, de



ser la mar la que desprendiese el olor a brea, quizás se pudiese especular con algún tipo de vertido de crudo, aceite pesado o marea negra, como la causa de dicho olor. Ahora bien, caso de ser la mujer, el perfume a brea podría ser debido al uso de algún champú o jabón conteniendo brea en su composición. Este tipo de cosméticos, basados en la brea, fueron muy populares en otros tiempos, en los que la variedad de champús se limitaba, fundamentalmente, a los de huevo y los de brea; también estaban los de fresa, pero estos resultaban algo casi exótico. Hoy en día la variedad es mucho mayor, pero aún se comercializan champús y jabones usando brea de pino y hulla

principalmente. Estos champús y jabones son recomendados para combatir la caspa, dermatitis seborreica, eczema, picores, etc. Sin embargo, y curiosamente, en las breas existen varios compuestos potencialmente cancerígenos. No obstante, es de suponer que estos productos no contienen estos compuestos en proporciones que puedan resultar peligrosas. En algunas publicidades de este tipo de productos, de cierto corte naturalista, puede leerse: “a base de extracto de brea de hulla natural”. ¿Que será entonces la hulla artificial?



Champú medicinal (CHAMPÚ DE BREA). Composición: cada 100 mL contiene: 5 mL de liquor picis carbonis; 5 g de resorcinol monoacetato; vehículo apropiado c.s. Indicaciones: caspa. Dermatitis generalizada persistente, como psoriasis, eczema, dermatitis atópica y dermatitis seborreica. Contraindicaciones: hipersensibilidad a alguno de los componentes del medicamento, inflamación aguda, heridas abiertas, infecciones de la piel. Precauciones: embarazo: no se han realizado estudios que garanticen su seguridad. Lactancia materna: no se sabe si la brea de hulla se excreta en la leche materna; no se han descrito problemas en humanos. Niños: los productos de brea de hulla no deben usarse en lactantes, a no ser bajo la atenta

supervisión del médico. Evitar el contacto con los ojos. Carcinogenicidad: Estudios en pacientes con psoriasis que han sido tratados con brea de hulla no indicaron un aumento en la evidencia de cáncer de la piel. Reacciones adversas ocasionales: irritación y erupción cutánea (foliculitis, dermatitis de contacto alérgica o irritante). Interacciones: medicamentos fotosensibilizadores: puede producir efectos fotosensibilizadores aditivos; no se recomienda el uso simultáneo de brea de hulla con metoxaleno o trioxisaleno sistémicos o tópicos. Posología: debe humedecerse el cuero cabelludo con agua tibia, y dar masajes al cuero cabelludo con una cantidad abundante de champú, después enjuagar. La aplicación se repite y se deja actuar el champú sobre el cuero cabelludo durante 5 min, después se enjuaga a fondo, el champú puede volverse a aplicar según necesidades o según las indicaciones del médico. Su uso es tópico, en el cuero cabelludo, 2 v/semana o según prescripción. Tratamiento de sobredosis y de efectos adversos graves: medidas generales.

El párrafo anterior está extraído del prospecto de un champú de brea comercializado como champú medicinal. La lista de contraindicaciones, precauciones, reacciones adversas, interacciones y demás, resulta cuando menos un tanto

inquietante. En cualquier caso, y elucubraciones aparte, gracias Joan Manuel por habernos regalado la canción.

Grafito

El grafito es una forma alotrópica del elemento carbono. Está constituido por láminas planas de átomos de carbono que forman un sistema de anillos condensados. Las láminas están ordenadas en forma hexagonal y son paralelas entre sí. Hay dos formas alotrópicas con diferentes secuencias de apilamiento: hexagonal y romboédrico. En cada lámina, cada átomo de carbono está unido a otros tres por medio de enlaces covalentes formando una serie continua de hexágonos. En el grafito hexagonal, la distancia entre los planos es de 0,3354 nanómetros ($1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}$), más del doble de la distancia del enlace C-C en los planos basales. Esto indica que la interacción entre láminas aromáticas es débil. Se asume que las láminas están unidas mediante enlaces de Van der Waals, formando una red cristalina tridimensional. Debido a esto, el grafito posee un alto grado de anisotropía, de modo que sus propiedades eléctricas, térmicas y mecánicas varían notablemente dependiendo de la dirección en la cual se haga la medida. Así, en lo que respecta a sus propiedades mecánicas, las láminas pueden deslizarse fácilmente unas sobre otras, lo que confiere al grafito un carácter untoso al tacto que es la base de sus aplicaciones como lubricante; sin embargo, presenta una gran resistencia en la dirección perpendicular a los planos basales. Con respecto a la conductividad eléctrica, el grafito se comporta como un semiconductor en la dirección perpendicular al plano basal, mientras que en la dirección de

los planos su comportamiento se corresponde con el de un conductor semimetálico. El grafito es uno de los materiales químicamente más inerte, resistiendo a la mayoría de los álcalis, ácidos y gases corrosivos. La reactividad del grafito aumenta con la temperatura reaccionando con el oxígeno a temperaturas por encima de 300-400 °C.

El grafito natural comenzó a explotarse en torno al año 1564 cuando se descubrió la primera mina de este material desconocido por aquel entonces, por lo cual fue denominado plombagina, ya que presentaba un color gris parecido al del plomo y al igual que este dejaba marcas cuando se pasaba por una superficie. En la actualidad, las reservas de grafito natural son relativamente abundantes y su extracción no plantea grandes problemas. El grafito natural es policristalino, es decir, está constituido por agregados cristalinos, pudiendo variar considerablemente la forma y tamaño de estos agregados de unos grafitos a otros. Las propiedades del grafito dependen en gran medida de las imperfecciones que presente su estructura, las cuales son relativamente frecuentes en el grafito natural. Además, el grafito natural presenta impurezas que limitan sus aplicaciones, por lo que es necesario llevar a cabo un proceso de purificación como paso previo a su utilización.

El grafito sintético es un material constituido por carbón grafitico. Fue preparado por primera vez a principios del siglo XX, lo que contribuyó notablemente a ampliar el campo de aplicaciones del grafito. En 1893, Edward Goodrich Acheson patentó un método para fabricar un abrasivo industrial a partir de arcilla y carbón calentados conjuntamente en un horno

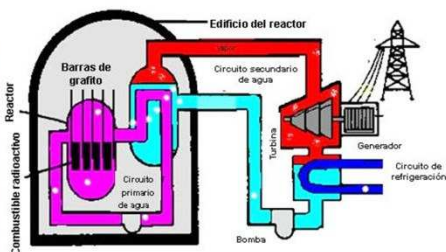
eléctrico a temperaturas entre 1600-2500°C. El material resultante, carburo de silicio (SiC), recibió en nombre comercial de *carborundum*. El carborundum resultó ser un abrasivo solo superado por el diamante. Con posterioridad, a mediados de la década de 1890, Acheson descubrió que calentando el carborundum a temperaturas muy elevadas se podía eliminar el silicio obteniendo un grafito sintético prácticamente puro, al cual se denomina grafito Acheson. El método de Acheson consiste, en esencia, en someter a elevadas temperaturas en un horno eléctrico una mezcla de coque y sílice. En las partes menos calientes del horno (a unos 2000° C) se produce una reacción entre el C y el Si para dar lugar a la formación de carburo de silicio, el cual, al pasar a otras zonas del horno de temperatura más elevada (superior a los 2500°), se descompone, liberando el Si y dejando el C en forma de grafito. El silicio, al liberarse, lo hace en estado gaseoso, condensándose de nuevo en las zonas menos calientes. Allí se encuentra con el coque, con el que reacciona de nuevo para dar lugar a la formación de nuevas cantidades de carburo de silicio. El silicio se comporta, en cierto modo, como catalizador de la reacción de transformación del carbono de coque en grafito.

Los procesos de fabricación del grafito han evolucionado notablemente hasta lograr un control casi total de la estructura cristalina del material y de su pureza. Otro método por el que se obtienen la mayoría de los grafitos sintéticos consiste en el tratamiento térmico a altas temperaturas de un precursor sólido que contiene carbón no grafitico, pero grafitizable. Así pues, en principio, los únicos requisitos que tienen que

cumplir los precursores de un grafito sintético consisten en que tengan un elevado contenido en carbono y que sean grafitizables. En la actualidad, la industria del grafito sintético utiliza mayoritariamente coque de petróleo de diferente grado y breas de carbón o petróleo, que se usan como ligante de las partículas de coque. Estos precursores suelen dar lugar al grafito poligranular, término que incluye a todos los grafitos sintéticos compuestos de granos que pueden distinguirse claramente al microscopio. El más común de estos grafitos es el grafito moldeado. En la fabricación del grafito moldeado, el coque de petróleo calcinado y molido se mezcla con el ligante (matriz) — normalmente una brea de alquitrán de hulla, aunque también puede ser de petróleo o resinas fenólicas, epoxi, etc. — en proporciones aproximadas del 80/20. A continuación se calienta a unos 150 °C para fundir el aglomerante y que se mezcle bien con el relleno, y se prensa mediante diversos procedimientos como la extrusión, moldeado o presión isostática. Se calcina a 700-1000 °C y posteriormente se grafitiza a 2600-3000 °C. Finalmente puede tener lugar un proceso de mecanizado. La etapa de prensado es muy importante ya que determinará la orientación preferencial de los cristales. En la extrusión, los cristales se alinean en la dirección de la extrusión, mientras que en el moldeado lo hacen en dirección perpendicular a la presión. Mediante la presión isostática, la fuerza se aplica por igual en todas direcciones obteniéndose un producto de naturaleza isótropa a partir del cual se produce el grafito isótropo de alta densidad.

Otro método para la producción de grafito sintético es el depósito químico en fase de vapor de metano, acetileno,

etileno u otros hidrocarburos gaseosos sobre un sustrato. Este tipo de grafito es altamente ordenado y se denomina grafito pirolítico. También es posible utilizar otros precursores alternativos como la antracita, en vez del coque de petróleo. Un caso curioso es la grafitización de la poliimida, que da lugar a grafito sintético sin pasar por la fase plástica por la que pasan casi todos los carbones grafitizables.



El grafito nuclear, se usa como moderador de neutrones en algunos reactores nucleares de fisión.

La principal aplicación del grafito sintético es la fabricación de electrodos para la fundición de metales (principalmente en la industria del acero), que son utilizados en hornos de arco eléctrico. También se utilizan en la fabricación de crisoles; componentes eléctricos, como escobillas; ánodos para baterías de ion litio; diferentes piezas para aplicaciones mecánicas o químicas; como moderador de neutrones y en diversos elementos de los reactores nucleares (grafito nuclear); y desde

la antigüedad para la fabricación de lubricantes y en las minas de los lápices.

Del lápiz de grafito al bolígrafo espacial

En 1564, una fuerte tormenta derribó unos árboles cerca del poblado de Borrowdale en Inglaterra, dejando al descubierto una sustancia negra, de aspecto mineral, desconocida hasta entonces. Era una veta de grafito natural o plumbagina, “plomo negro”, como se le denominó entonces por tener el mismo color gris oscuro que el plomo. Los pastores de los alrededores comenzaron a usar pedazos de este material para marcar sus ovejas, al tiempo que otros habitantes con visión comercial comenzaron a partirlo en forma de bastoncillos, que luego vendían en Londres bajo el nombre de “piedras de marcar”. Estos bastoncillos presentaban dos grandes inconvenientes: se rompían con facilidad y manchaban las manos y todo lo que tocaban. Al principio, el problema de la suciedad se resolvió enrollando un cordón a lo largo del bastoncillo de grafito, para ir quitándolo a medida que se gastaba, más tarde comenzaron a usarse unos primitivos portaminas hechos de trozos de madera con una oquedad en la que se insertaba la barra de grafito. A mediados del siglo XVIII, el grafito se usaba también para la fundición de cañones, por lo que se convirtió en un mineral estratégico, de manera que robar un trozo de este mineral podía llegar a castigarse incluso con la pena de muerte. La escasez de grafito en el resto de Europa obligó a buscar soluciones alternativas a la fabricación de lápices. En 1760, el químico (en sus ratos libres) Kaspar Faber, artesano de Baviera, mezcló el grafito con

polvo de azufre, antimonio y resinas, hasta obtener una masa que, moldeada en forma de una vara delgada y tras ser horneada, se conservaba más firme que el grafito puro. Más tarde, se fue mejorando la calidad de estas barritas de grafito al incorporarle otras sustancias como el azufre y la arcilla. Esta última fue añadida al grafito en 1795 por Nicolas Jacques Conté, químico, ingeniero, militar y pintor francés que descubrió la plumbagina artificial, una mezcla de grafito y arcilla que usó para la fabricación de lápices por encargo de Napoleón Bonaparte, dada la escasez que había de ellos a causa de la guerra con Inglaterra. Añadiendo las cantidades adecuadas de arcilla a la mezcla, pudo modificar el grado de dureza de estas minas. Así, cuanto más grafito se utilice más blando y oscuro es el trazo del lápiz.



En 1565, un naturalista suizo-alemán, Conrad Gesner, se hace eco del primer lápiz, un instrumento que servía para escribir, consistente en un trozo de grafito contenido en un receptáculo de madera. La mina de los lápices está constituida normalmente por una mezcla de grafito y arcilla.

El grafito puro es demasiado blando.

La invención del lápiz también se atribuye a Joseph Hardtmuth, un austriaco inventor de un lápiz hecho a partir de una mezcla de arcilla y polvo de grafito con la que fabricaba

unas barritas que posteriormente cocía y sumergía en un baño de cera que recubría la mina permitiendo que el grafito dejara rastro en el papel. En 1792 Hardtmuth fundó su propia empresa en Viena. En 1812 William Monroe, un ebanista de Concord (Massachusetts), fabricó una máquina que producía tablillas semicilíndricas de madera de cedro, de 16 a 18 centímetros de longitud. A lo largo de las mismas el aparato marcaba estrías en el centro del delgado semicilindro. Monroe unía con cola las dos partes de madera, pegándolas en torno una mina hecha con una mezcla de grafito y arcilla. Así fue como nació el lápiz tal y como lo conocemos en la actualidad.

El bolígrafo espacial Fisher fue desarrollado para su uso en el espacio. Los bolígrafos convencionales dependen de la gravedad para que fluya la tinta a la punta de bola. En el caso de este bolígrafo espacial, el cartucho de tinta contiene gas presurizado que impulsa la tinta hacia la punta de bola. Además, emplea una tinta especial que funciona en ambientes muy calientes y muy fríos. Si bien parece ser que es incierto que este invento representase un gran coste para la NASA; lo cierto es que la agencia rusa (RKA) solucionó el problema con un simple lápiz (!!!).



Imagen procedente de Wikimedia Commons (autor: Cpg100)

Un grafito que es la bomba

La bomba de grafito es un arma no letal que se utiliza para neutralizar las centrales de distribución eléctrica sin destruirlas y sin provocar graves daños en su estructura y equipos.



La bomba está formada por varios cilindros de unos 20 centímetros de largo por 5 de diámetro rellenos con unos delgados filamentos de grafito y otros compuestos conductores que al ser dispersados forman una densa nube conductora de la electricidad. Alrededor de 200 de estos cilindros (submuniciones) se cargan en un dispersador táctico, que se abre a una determinada altura programada. Cada submunición posee un pequeño paracaídas que orienta y ralentiza la caída del cilindro. A una determinada altura se detona una pequeña carga explosiva, lo que provoca que la submunición se abra dispersando la masa de filamentos de grafito y produciendo una nube de dichos filamentos. Cuando la nube entra en

contacto con los cables de alta tensión y otros aparatos como transformadores, los cortocircuita vaporizándose el grafito y aumentando su conductividad provocando arcos eléctricos. Dependiendo de las características de la instalación, esta sufrirá daños de diversa consideración pudiendo llegar los arcos eléctricos a fundir los conductores y otros elementos antes de que cese el fluido eléctrico.

El grafito que levita

Los materiales ferromagnéticos son aquellos que son atraídos fuertemente por una fuerza magnética. Ejemplos de materiales ferromagnéticos son: el hierro (Fe), níquel (Ni), cobalto (Co), gadolinio (Gd). La razón de que estos metales presenten una fuerte atracción magnética estriba en la configuración electrónica de sus átomos, de forma que los átomos rápidamente se alinean en la dirección del campo magnético dando lugar a dominios, o grupos de átomos alineados según el campo magnético. Algunos materiales ferromagnéticos como las aleaciones de hierro, níquel, cobalto y ciertos materiales cerámicos, pueden retener estas propiedades magnéticas durante mucho tiempo pudiendo convertirse en imanes permanentes o materiales magnéticos. En el caso de los materiales de carbono la nanoespuma de carbono posee interesantes propiedades magnéticas y ferromagnéticas.

Los materiales paramagnéticos son los metales que presentan una atracción débil a los imanes. El aluminio (Al) y el cobre (Cu) son ejemplos de estos materiales. Estos materiales pueden convertirse en imanes muy débiles, pero su

fuerza atractiva se puede medir solamente con los instrumentos sensibles. La fuerza de un imán paramagnético es del orden de un millón de veces menor que la de uno ferromagnético; por eso estos materiales son considerados no magnéticos.

La temperatura afecta a las características magnéticas de un material. Así, los materiales paramagnéticos pueden llegar a ser magnéticos a temperaturas muy bajas, mientras que a temperaturas altas los materiales ferromagnéticos pueden llegar a perder sus propiedades magnéticas. La temperatura a la que un material pierde sus propiedades magnéticas se denomina temperatura Curie.

Algunos materiales son diamagnéticos, lo que significa que cuando se exponen a un campo magnético, estos materiales inducen a su vez un campo magnético débil en la dirección opuesta. Es decir, rechazan débilmente a un imán fuerte. El bismuto (Bi) y los carbones grafiticos son ejemplos de materiales diamagnéticos fuertes. Otros materiales diamagnéticos más débiles son el agua, el diamante y los tejidos vivos. Debido a esta propiedad, los materiales diamagnéticos son susceptibles de ser usados en lo que se denomina levitación magnética, en la que objetos hechos de estos materiales pueden llegar a flotar sobre un imán fuerte.

Algunos superconductores a temperaturas criogénicas presentan un “diamagnetismo gigante”. A temperatura ambiente las mayores propiedades diamagnéticas que se conocen las presentan el bismuto (Bi) y el grafito, siendo el grafito pirolítico el material más diamagnético a temperatura

ambiente. Este elevado diamagnetismo solo se da en la dirección perpendicular a los planos basales, siendo en otras direcciones también diamagnético, pero sin presentar propiedades tan fuertes. Por otra parte, el carbono es un



elemento relativamente ligero, por lo que una lámina de grafito pirolítico suficientemente delgada y ligera puede hacerse levitar en el campo magnético producido por algunos imanes muy potentes, como los superimanes de neodimio-hierro-boro (Nd-Fe-B),

siempre que las fuerzas repulsivas sean mayores que la fuerza de la gravedad. Usando cuatro imanes con una disposición adecuada de sus polos (N-S-N-S) la fuerzas repulsivas pueden compensarse manteniendo la lámina de grafito en una posición estable.

Carbón tipo vidrio

El carbón tipo vidrio (en inglés *glassy carbon*) es un carbón no grafitizable monolítico con una muy elevada anisotropía de sus propiedades físicas y estructurales y con una permeabilidad muy baja a líquidos y gases, debido a su prácticamente nula porosidad (a diferencia del resto de carbones no grafitizables). Las superficies originales y de fractura tienen una apariencia pseudovidriosa. Los sinónimos



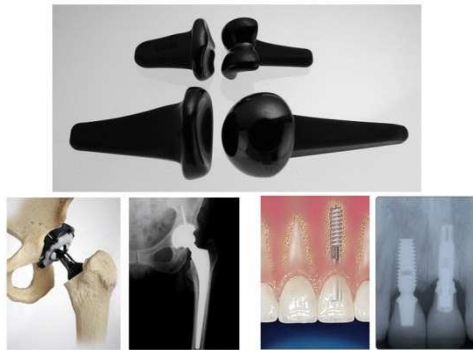
comúnmente utilizados “carbón-vidrio” y “carbón vítreo” han sido introducidos como marcas comerciales y no deben ser utilizados como términos. Además, desde un punto de vista científico, los dos sinónimos sugieren una similitud con la estructura de los vidrios silicatos que no existen en el “carbón tipo vidrio” excepto por la apariencia pseudovítrea de su superficie. Este tipo de carbones combinan ciertas propiedades de los vidrios y los materiales cerámicos con las del grafito. Los carbones vítreos tiene una gran resistencia térmica, pudiendo alcanzar temperaturas superiores a los 2000 °C sin deterioro del material (desvitrificación) y son extremadamente resistentes al ataque químico (más incluso que el grafito).

En la estructura propuesta para el carbón vítreo los átomos de carbono presentan una hibridación sp^2 formando unidades grafiticas las cuales se encuentran retorcidas en forma de lazos, de forma que las dimensiones de los planos grafiticos no son suficientes como para que se pueda considerar un carbón grafitico.

Fue producido por primera vez por la General Electric Company UK, a principios de los años 60, usando celulosa como precursor. Poco después se produjo en Japón a partir de resinas fenólicas. La preparación del carbón vítreo implica someter al material de partida, que generalmente suele ser un polímero (resinas fenólicas, fenol-formaldehído, etc.), a una serie de tratamientos térmicos como una carbonización (en ausencia de aire) a temperaturas del orden de los 1000 °C y un tratamiento térmico posterior que llega a alcanzar temperaturas del orden de los 3000 °C (que aunque a veces se denomina grafitización, no puede ser considerado como un

proceso de grafitización ya que el material resultante no es grafitico).

Los carbones vítreos tienen una gran variedad de aplicaciones, fundamentalmente como electrodos para procesos electroquímicos (debido a su resistencia química), pero también como crisoles y otros materiales diversos como prótesis e implantes dentales.



El carbono es el elemento en el cual se basa la vida y del que está mayoritariamente formado nuestro cuerpo. Las prótesis e implantes hechos con materiales de carbono son biocompatibles además de muy ligeras y resistentes.

Fibras de carbono y materiales compuestos C/C

Las fibras de carbono o fibras de carbón (FC) son sólidos carbonosos con forma de filamentos, o una trenza de estos, y con un contenido mínimo en carbono del 92% en peso. Las fibras de carbono se obtienen por carbonización (1200–1400 °C) de fibras orgánicas naturales o sintéticas o de fibras procedentes de precursores orgánicos. En la mayoría de los

casos, las fibras de carbono permanecen como carbón no grafitico. Por tanto, el término de fibras de grafito solo está justificado cuando las fibras de carbono (siempre y cuando sean grafitizables) han sido sometidas a un tratamiento térmico de grafitización (2000–3000 °C) que les confiere un orden cristalino tridimensional similar al del grafito.

Las primeras fibras de carbono utilizadas industrialmente se deben a Edison, quien preparó fibras de carbono por carbonización de filamentos de fibras de bambú (celulosa) y fueron utilizadas en la preparación de filamentos para lámparas incandescentes. En 1960, la compañía Union Carbide desarrolló un procedimiento industrial de obtención de fibras continuas de carbono a partir de fibras de rayón. En 1966, fibras de carbono de alto módulo y tensión de ruptura fueron obtenidas a partir de fibras de PAN (poliacrilonitrilo). En esta época también se desarrollaron fibras de carbono obtenidas a partir de breas de carbón y petróleo y de resinas fenólicas. Sin embargo, estas fibras de carbono presentan propiedades mecánicas inferiores y se comercializan como fibras de carbono de uso general. En los años 80, se preparan fibras de carbono a partir de breas de mesofase de ultraalto módulo que se utilizan en un número limitado de aplicaciones que requieren fibras de muy altas prestaciones.

Aunque existe una gran variedad de fibras de carbono en función de los distintos precursores o procesos utilizados, su preparación conlleva las siguientes etapas comunes:

Hilado de las fibras a partir de una disolución o fundido

Estabilización de las fibras hiladas mediante pre-oxidación o estabilización térmica, para evitar que la fibra se funda en el posterior proceso de carbonización

Carbonización en atmósfera inerte (1200–1400 °C)

Con estas etapas se obtienen las denominadas fibras de carbono de uso general. Para obtener fibras de carbono de altas prestaciones, fibras de carbono conductoras o fibras de grafito, es necesario someter las fibras de carbono a tratamientos térmicos adicionales a temperaturas que pueden variar entre los 2000 y los 3000 °C.

En muchos casos también es necesario someter las fibras a un tratamiento superficial (generalmente de oxidación, que generan grupos superficiales oxigenados en la superficie de las fibras que aumentan su mojabilidad) para mejorar la adhesión a la matriz.

Atendiendo a sus propiedades mecánicas, las FC pueden clasificarse en:

Fibras de ultra alto módulo (UHM). Son aquellas que presentan un módulo elasticidad superior a los 500 Gpa (esto es, < 50% del módulo elástico del monocristal de grafito, 1050 Gpa).

Fibras de alto módulo (HM). Presentan un módulo de elasticidad superior a 300 Gpa, pero con una relación resistencia a la tracción/módulo de tensión menor del 1%.

Fibras de alta fuerza (HT). Presentan valores de resistencia a la tensión superiores a 3 Gpa y con

relaciones resistencia a la tracción/módulo de 0,015-20.

Fibras de módulo intermedio (IM). Presentan valores del módulo de tensión superiores a 300 Gpa y relaciones de resistencia a la tracción/módulo del orden de 0,01.

Fibras de bajo módulo. Son fibras de carbono de estructura isótropa, con valores bajos del módulo y resistencia a la tensión. Se comercializan como fibras cortas.

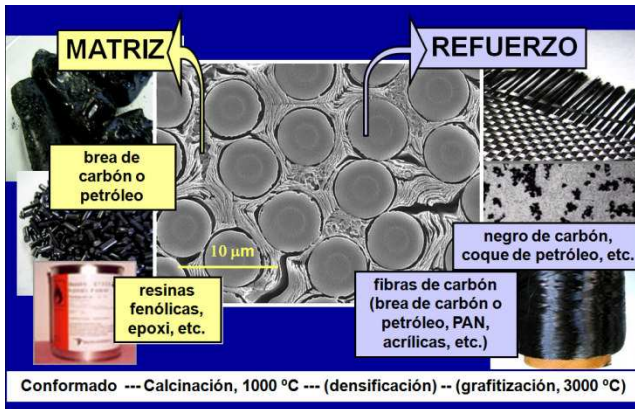
En relación a los precursores utilizados para la obtención de fibras de carbono, las más importantes son: fibras de carbono a partir de rayón, fibras de carbono a partir de PAN (poliacrilonitrilo), fibras de carbono a partir de breas.

Las fibras de carbono activadas se obtienen mediante carbonización y activación física o química de distintos precursores (breas, rayón, poliacetatos, resinas fenólicas, etc.). Se caracterizan por presentar una gran superficie específica, tamaño de poros muy uniforme y velocidades de adsorción/desorción unas cien veces superiores a las de los carbones activos. Estas fibras también se pueden obtener en forma de telas o fieltros.

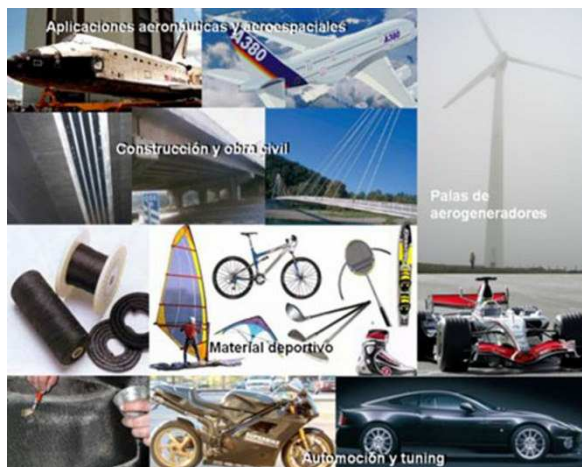
Otro tipo de fibras que difiere de las anteriores en cuanto a sus características y método de obtención son las fibras de carbono crecidas en fase de vapor (*vapour ground carbon fibres*, VGCF). Estas fibras se obtienen mediante un proceso catalítico de depósito químico en fase de vapor (CVD). Aunque de tamaño mucho menor que las anteriores, estas fibras de

carbono presentan una gran variedad de tamaños que van desde unos pocos centímetros hasta las micro y nanofibras.

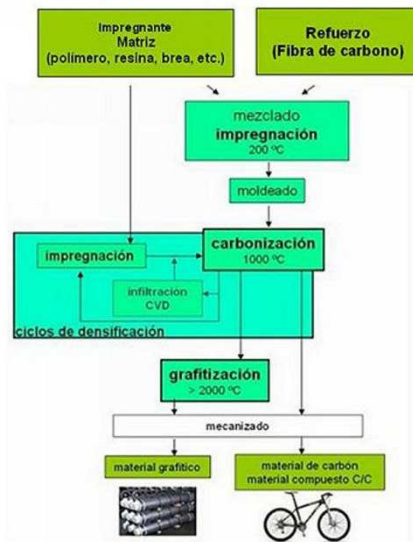
Las FC presentan un amplio rango de estructuras en lo que se refiere a la orientación de los planos gráficos tanto en la dirección del eje de la fibra como perpendiculares a este.



Precursores y aplicaciones de los materiales compuestos C/C



Los **materiales compuestos carbono/carbono (C/C)** son un tipo particular de materiales compuestos en los que se combina un refuerzo de carbono (generalmente una fibras de carbono) y una matriz también carbonosa (resinas, polímeros o breas, con las que primero se impregna la fibra y luego se carbonizan para dar lugar a esta matriz). Este tipo de materiales se caracterizan por ser ligeros y a la vez densos, con altas prestaciones mecánicas, alta resistencia térmica (en



atmósfera no oxidante) y muy inertes ante la mayoría de agentes químicos. Por el contrario, su punto débil es la gran reactividad en atmósfera oxidante cuando se sobrepasan los 400-500 °C. También son materiales de alto coste aunque los avances tecnológicos y su uso más generalizado tienden a abaratar su precio.

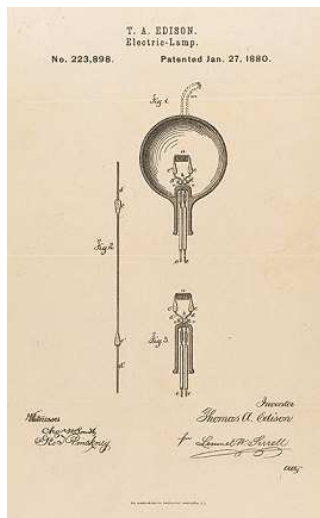
Los procedimientos más comúnmente utilizados para la obtención de materiales compuestos C/C son el depósito químico en fase de vapor (CVD) y la impregnación líquida, los cuales se pueden utilizar bien de forma individual o bien de forma combinada. En el primer procedimiento, las fibras de carbono se exponen a una corriente de un hidrocarburo (metano, por lo general) que, a las altas temperaturas del

tratamiento, se descomponen y depositan en forma de carbón pirolítico sobre la superficie de la fibra. En el caso de la impregnación líquida, la preparación del material conlleva dos etapas consecutivas: la impregnación de la fibra con un precursor orgánico dando lugar al preimpregnado y la transformación de este precursor en matriz de carbono mediante la aplicación de ciclos térmicos controlados en atmósfera inerte (carbonización). Dependiendo de las aplicaciones finales del material, este puede someterse a un proceso de grafitización a temperaturas del orden de los 2500 °C. En los materiales en los que se requiere una gran densidad y altas propiedades mecánicas, los materiales compuestos C/C pueden someterse a un proceso de densificación mediante infiltración del precursor de la matriz o mediante CVD.

Edison no inventó la bombilla eléctrica

Thomas Alba Edison (1847-1941) vivió y trabajó en Estados Unidos llegando a ser el inventor más productivo de todos los tiempos. Patentó 1903 inventos, entre ellos la lámpara incandescente, similar a la bombilla eléctrica que usamos en nuestros días. No obstante, y aunque existe cierta controversia al respecto, parece ser que fue Sir Joseph Wilson Swan el primero en inventar en Gran Bretaña la bombilla eléctrica en 1878. Edison mostró el mismo invento en 1879, pero a diferencia de Wilson, Edison tenía la precaución de patentar todos sus inventos, por lo que demandó a Joseph por haberle robado su idea. No obstante, esta acción fue anulada llegando ambos a un acuerdo y compartiendo su invento para formar la

compañía *Edison and Swan United Electric Light Company* en 1883.



Dibujo de la bombilla eléctrica de Edison en una de las múltiples patentes que solicitó de esta invención

Básicamente, la bombilla eléctrica objeto de la invención consiste en una ampolla de vidrio, a la cual se le hace el vacío, y que contiene un filamento que se pone incandescente, cuando es atravesado por una corriente eléctrica, emitiendo luz. El principal problema en aquella época era, sin embargo, encontrar un filamento que no se fundiese al poco tiempo de ponerse incandescente. Edison sí fue en este caso quien realmente resolvió el problema después de probar más de 6000 derivados

vegetales e invertir alrededor de 50 000 dólares intentando encontrar la fibra ideal para su filamento. Finalmente logro una bombilla basada en un diseño cuyo filamento consistía en fibras de bambú carbonizadas, con las que consiguió una duración de ese primer prototipo comercial de aproximadamente 1200 horas (algo casi increíble si consideramos que en 1879 sus intentos no duraban más de 14 horas). Una celebrada anécdota relata cómo en la conferencia de prensa que se celebró para promocionar su nuevo invento, un periodista le preguntó: *¿Qué sintió después de haber*

fracasado dos mil veces en hacer una bombilla?; a lo que Edison contestó: Joven, yo no fracasé dos mil veces en hacer una bombilla; me limité a encontrar mil novecientas noventa y nueve formas de no hacer una bombilla.

Esta fibra de carbono (así como otras obtenidas con otros precursores) también fue patentada por Edison en 1879 y es considerada como la primera fibra de carbono patentada para una aplicación industrial. Así, la primera bombilla fabricada de forma industrial en 1881 se componía de un hilo de carbón (hebras de bambú carbonizadas) dentro de una ampolla de vidrio vaciada de aire. Esta lámpara tenía una eficacia luminosa de 2 lm/W y fue utilizada por primera vez en la Ópera de París para la Exposición Universal de la Electricidad en 1881.

La cosa más rápida en no-piernas

Oscar Pistorius nació el 22 de noviembre de 1986 en Pretoria, Sudáfrica. Pistorius es un atleta paralímpico que se ha hecho famoso como “the fastest thing on no legs” (la cosa más rápida sobre no piernas), debido a que no tiene piernas de rodilla para abajo. Oscar nació con deficiencia ósea por debajo de sus rodillas y sus padres tomaron la difícil decisión de autorizar a los médicos la amputación de ambas piernas cuando tenía once meses de edad. Como atleta recibió el apodo de “Blade Runner”, debido a la forma de los amortiguadores ortopédicos de fibra de carbono fabricados especialmente para él y cuya marca registrada Cheetah (“guepardo”) recuerda al felino más rápido de la Tierra. Sus prótesis de fibra de carbono no solo le sirvieron para entrar velozmente en las páginas de la

historia del deporte, sino también en la polémica. Varios han protestado por considerar que estos amortiguadores le permiten una longitud de salto más amplia, algo que él rechaza. La empresa que los fabrica, Ossur, los califica de “instrumentos pasivos” y alega que distan mucho del rendimiento que pueden tener las piernas biológicas.



*Oscar Pistorius en competición
en Islandia en 2007
Imagen procedente de
Wikimedia Commons
(autor: Elvar Pálsson)*

El 14 de enero de 2008, la Asociación Internacional de Federaciones de Atletismo (IAAF) decidió que Pistorius no podría participar en las competiciones regulares no paralímpicas, argumentando que sus prótesis le daban ventajas en el rendimiento con respecto a los demás atletas. Pistorius recurrió esa decisión ante el Tribunal Arbitral del Deporte, que apenas unos meses más tarde, en mayo de ese mismo año, le dio la razón. El máximo tribunal de competiciones deportivas

consideró que las prótesis de Pistorius no le concedían ventajas respecto a sus rivales, invalidando así la anterior decisión de la federación de atletismo. Esto ha permitido a Pistorius volver a participar en las competiciones atléticas regulares.

Casi como un Stradivarius

El mundo de la música ha sufrido una revolución merced a la creación de instrumentos fabricados con criterios científicos. El más difícil de producir de este modo por sus características técnicas, así como



Violín de grafito-resina expoxi

por toda la carga simbólica que ha acumulado a lo largo de más de 500 años, es el violín. Pero para tristeza de los *luthières*, los ingenieros han construido violines con materiales compuestos C/C (fibras de grafito y resina expoxi). Los expertos opinan que en algunos casos estos violines “sintéticos” alcanzan la calidad de los Stradivarius. Un violín hecho de madera balsa y fibra de grafito fue alabado por violinistas de la talla de Ingolf Turban, quien en un ejercicio de prueba comparó uno de estos instrumentos con un Stradivarius de 1721; el artista grabó pasajes del Concierto para violín en re mayor de Mozart usando ambos. Al finalizar Turban exclamó: “jamás he tocado un violín tan resonante”. “Ya no es como tocar el violín, sino como cantar”.

Espumas y geles de carbono

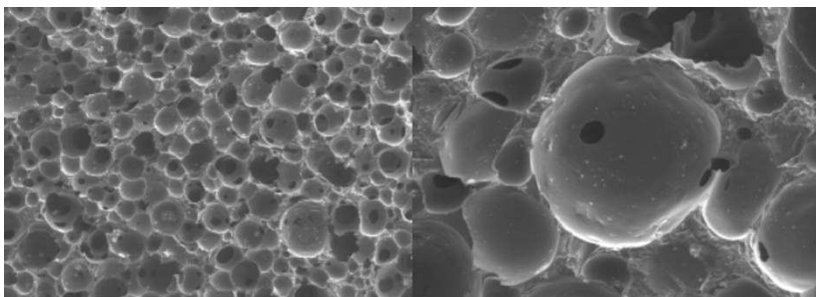
Un gel es un coloide en el que la fase continua es sólida y la discontinua es líquida. El proceso por el cual se forma un gel se denomina gelación. Los geles están compuestos por una gran cantidad de líquido, por lo que exhiben densidades similares a

los líquidos, aunque con la consistencia de un sólido, presentando la apariencia de un sólido gelatinoso.

Los geles de carbono son materiales carbonosos formados por cadenas o aglomerados tipo coloidal de partículas poliméricas, con un diámetro típico de unos 10 nm. Este tipo de nanoestructura es la responsable de unas propiedades térmicas, acústicas, ópticas, eléctricas y mecánicas muy singulares. Además, son materiales que presentan una red interconectada de poros entre partículas y en las propias partículas, por lo que se trata de materiales carbonosos con un gran desarrollo textural; esto es, alta porosidad (>80%) y áreas superficiales (400-1200 m²/g). Debido a su estructura ultraporosa presentan una conductividad térmica extremadamente baja.

Generalmente, el término “espuma” se utiliza para designar materiales porosos de baja densidad consistentes en dispersiones de burbujas de gas en un material, pudiendo ser dicho material líquido o sólido. Las espumas se clasifican como espumas de celdas cerradas o espumas de celdas abiertas. Las espumas de celdas cerradas se caracterizan principalmente por tener volúmenes de poro sellados de los que el gas atrapado no puede escapar fácilmente. Es un ejemplo común de una espuma de celda cerrada el poliestireno. En contraposición, las espumas de celdas abiertas se caracterizan principalmente por tener volúmenes de poro que no están sellados, y que a menudo están interconectados, y de los que el gas atrapado puede escapar o reentrar.

Tradicionalmente, las espumas de carbono se han venido obteniendo mediante la carbonización de sustancias poliméricas para obtener un esqueleto reticular carbonoso, en ocasiones utilizando moldes o soportes de distinta naturaleza. Sin embargo, a partir de los años 1990, también se han venido usando como precursores de estas espumas el carbón mineral y las breas de mesofase.



Fotografías de microscopio electrónico de barrido (SEM) de una espuma de carbono obtenida a partir de un carbón bituminoso

En baterías y supercondensadores

Las baterías son conocidas y usadas desde hace tiempo, aunque existe una continua mejora en sus prestaciones a través de diversos desarrollos; bien mejorando las ya existentes, bien introduciendo nuevos sistemas electroquímicos. Las baterías ion-Li ofrecen ventajas frente a otros tipos de baterías, tales como una mayor densidad de carga y mayor voltaje.

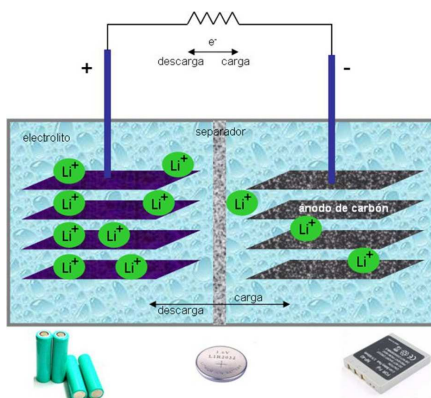
Almacenamiento de energía



Los materiales de carbono son un componente esencial de algunas baterías convencionales, baterías recargables, supercondensadores y pilas de combustible

Las primeras baterías de Li que se desarrollaron contenían un ánodo de Li metal. Pronto se vio que su uso presentaba graves problemas de seguridad, por ser el Li un metal muy reactivo; y también de duración, al ser el número de ciclos carga-descarga al que podía someterse la batería muy bajo. Esto era debido a la formación de dendritas al reprecipitar el Li en el ánodo durante su uso, lo que cambiaba la geometría del ánodo a la vez que aumentaba aun más su reactividad. La solución a estos problemas vino con la aparición de las baterías de ion-Li, en las que se sustituía el ánodo de Li metal por un ánodo de carbono capaz de intercalar iones Li en su interior, haciéndolo de una forma reversible. Es lo que se conoce como

el concepto “mecedora”, donde los iones Li “van y vienen” entre un cátodo y el ánodo hecho con un material de carbono. Para la fabricación de los ánodos de carbono pueden emplearse una gran variedad de materiales carbonosos que van desde los materiales grafiticos a los carbones activos, siendo la optimización de este tipo de materiales uno de los campos de investigación en lo que se refiere a las aplicaciones de los materiales de carbono.



BATERÍAS DE ION LITIO. Descarga: Los iones litio (Li^+) cambian espontáneamente del electrodo negativo al electrolito y de este al electrodo positivo. Al mismo tiempo, los electrones fluyen espontáneamente del electrodo negativo al positivo a través del circuito eléctrico. **Carga:** Se fuerza el paso de electrones del electrodo positivo al negativo. Este proceso fuerza también a los iones litio a salir del electrodo positivo y a intercalarse en el negativo.



Los supercondensadores o condensadores electroquímicos de doble capa han surgido como una alternativa o complemento importante para otros dispositivos de producción o almacenamiento de energía como las pilas de combustible o las baterías. La principal virtud del primero frente a los dos últimos es la mayor potencia que es capaz de desarrollar, acumulando, además, cantidades de energía considerables. Otras ventajas de los supercondensadores son la rapidez de carga y su gran ciclabilidad. La acumulación de energía eléctrica en un supercondensador se produce, en principio, por la separación de cargas (en este caso iones) entre los dos electrodos, el ánodo alrededor del cual se concentran los aniones; y el cátodo, que concentra sobre su superficie los cationes. Esta separación es puramente electrostática, lo que explica la alta velocidad a la que ocurren los fenómenos de carga y descarga del condensador, así como su alta ciclabilidad. Los materiales estudiados como electrodos para supercondensadores son principalmente de tres tipos: óxidos de metales de transición, polímeros conductores y materiales de carbono activados. Con óxidos metálicos se han conseguido valores de capacidad muy altos, pero estos supercondensadores tienen la desventaja de que son excesivamente caros y por lo tanto solo se utilizan en aplicaciones militares y en la industria aeroespacial. El uso de polímeros conductores también puede dar lugar a capacidades relativamente altas, pero estos materiales presentan el inconveniente de que sufren hinchamiento y contracción, lo cual es indeseable puesto que pueden ocasionar la degradación

de los electrodos durante el ciclado. Los materiales de carbono se presentan como los materiales activos del electrodo más atractivos, debido a su bajo coste relativo, elevada área superficial y gran disponibilidad. Dependiendo del fabricante, son varios los materiales de carbono usados en este tipo de dispositivos: carbones activos, geles de carbono, nanotubos de carbono, etc. En cualquier caso, el material ha de combinar un buen desarrollo poroso y una buena conductividad.

Los *enanocarbones*

En realidad nanocarbones, ya que son carbones o materiales de carbono con tamaños del orden de los nanómetros. Es decir, un millón de veces más pequeños que el milímetro.

Algunos de estos pueden producirse por depósito químico en fase de vapor (CVD, del inglés *chemical vapor deposition*). Es decir, a partir de una fuente de carbono en fase gas se forma una fase sólida de carbono debido al craqueo, descomposición y posterior recondensación, o simplemente reacción, de dicha fase de vapor. Este proceso es catalítico, por lo que se le añade c-CVD para distinguirlo del no catalítico (p-CVD; p de pirolítico), en donde lo que se depositan son otros materiales de carbono pirolítico. La formación de hollín es un caso típico de formación de carbono por CVD en un proceso no catalizado.

Nanomoldeo

Algunos materiales de carbono pueden obtenerse con una porosidad y forma “a medida”, usando una técnica conocida con el nombre de nanomoldeo (*nanocasting*). Esta técnica desarrollada a partir de los años 90 se basa en el uso de materiales inorgánicos como moldes para sintetizar los materiales de carbono porosos. El material inorgánico más ampliamente usado como molde es la sílice porosa (silicagel o sílice mesoestructurado), aunque también se emplean zeolitas,

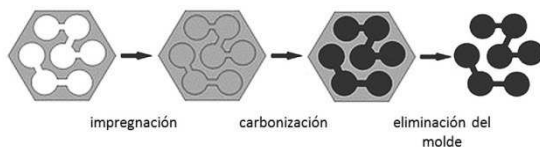
alúmina e incluso materiales poliméricos. Básicamente, esta técnica incluye las siguientes etapas:

Selección del material inorgánico que actuará de nanomolde. Las propiedades estructurales del material inorgánico (morfología, tamaño de partícula, porosidad) condicionarán las del carbón poroso obtenido al final.

Relleno de la porosidad del material inorgánico con un polímero (resina fenólica, etc.) o un prepolímero (alcohol furfurílico, pirrol, sacarosa, etc.) que luego se polimerizará dentro de los poros con ayuda de algún catalizador, o bien mediante la descomposición térmica de hidrocarburos a elevada temperatura (CVD).

Carbonización del material compuesto polímero/material inorgánico (esta etapa no es necesaria en el caso de usar CVD). Este proceso se realizará en atmósfera inerte (N_2 o vacío) a temperaturas en el rango 700-1000 °C. En esta etapa el polímero se descompone transformándose en carbono.

Eliminación selectiva del esqueleto inorgánico por tratamiento con algún agente químico (HF, NaOH, etc.) que elimine selectivamente el material inorgánico, dejando inalterado el carbono formado.



El carbón poroso obtenido mediante este procedimiento resulta ser una réplica inversa del material inorgánico (el esqueleto del material inorgánico constituye la porosidad del carbón resultante). Este proceso de réplica no solo se circunscribe a la porosidad del material, sino que se extiende tanto a la morfología como al tamaño de las partículas.

El negro de carbón

El negro de carbón es un material de carbón coloidal fabricado industrialmente en forma de esferas y sus agregados con tamaños entre los 10 y los 100 nm. El negro de carbón se forma por descomposición térmica o combustión incompleta de hidrocarburos, formándose radicales que se recombinan para dar lugar a las partículas de negro de carbón primarias o elementales, que son esencialmente esféricas. Estas partículas elementales nunca están aisladas como tales sino reunidas en agregados y aglomerados. El negro de carbón es carbono prácticamente puro con un mínimo de contenido en alquitranes u otras sustancias extrañas. Según el tipo de fabricación industrial existen distintos tipos de negros de carbón.

Negro de acetileno. Es un tipo de negro de carbón formado por la descomposición exotérmica del acetileno. Se caracteriza por un mayor grado de agregación.

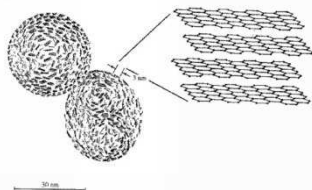
Negro de humo. Es un tipo de negro de carbón que se produce por la combustión incompleta de combustibles ricos en compuestos aromáticos que se

quemar en recipientes planos. Se caracteriza por una amplia distribución de tamaños de partícula (hasta 100 nm).

Negro térmico. Es un tipo de negro de carbón producido por pirólisis de hidrocarburos gaseosos, en una cámara precalentada, en ausencia de aire.

Negro de horno. Es un tipo de negro de carbón que se produce por la combustión incompleta en un horno de hidrocarburos líquidos o aromáticos. El proceso es ajustable y controlable y da lugar a una amplia variedad de productos. El 90% del negro de carbón se obtiene mediante el proceso de horno de aceite.

El hollín se forma generalmente como un subproducto no deseado de la combustión incompleta o de la pirólisis y da lugar a un material de carbón en forma de partículas que puede ser coloidal (< 100 nm) o más grueso. Aunque el hollín es en apariencia parecido al negro de humo, desde un punto de vista estricto no puede considerarse un tipo de negro de humo, ya que está constituido por cantidades variables de sólidos carbonosos e inorgánicos junto con aceites y alquitranes absorbidos y ocluidos.



Esquema del ordenamiento de los planos grafíticos en las partículas de negro de carbón

¿Por qué son negros los neumáticos?

Los primeros automóviles solían usar ruedas con cubiertas hechas de goma que tenía un color blanquecino debido al caucho con que estaban hechas. El color negro de los neumáticos actuales se debe a un descubrimiento accidental. En 1885, la compañía de neumáticos B.F. Goodrich decidió fabricar ruedas negras para evitar que se notase la suciedad. Para ello añadió negro de carbón, de forma que el caucho se tiñese de color negro. Para sorpresa de esta compañía, se descubrió que las ruedas así fabricadas eran hasta cinco veces más resistentes que las ruedas no coloreadas. En 1910, esta compañía introdujo el uso de negro de carbón en la fabricación de los neumáticos. Los neumáticos de hoy en día son mucho más sofisticados que estos primeros neumáticos negros, con docenas de capas y refuerzos de acero, pero el negro de carbón sigue siendo uno de los componentes principales y una de las partes más importantes en el diseño de un neumático.



La tinta china

Los chinos inventaron y perfeccionaron la *tinta china*, de ahí su nombre en español. Sin embargo, en inglés se conoce como *Indian ink*. Originalmente diseñada para el ennegrecimiento de las superficies en relieve de jeroglíficos tallados en piedra, la tinta era una mezcla de hollín



(obtenido del humo procedente de quemar madera de pino) y aceite de lámpara mezclado con la gelatina de piel de burro y almizcle. Aunque a esta tinta se le atribuye un origen muy remoto en la historia, no se hizo común hasta el año 1200 a. de C. Las tintas chinas son prácticamente permanentes porque el negro de carbón es químicamente inerte y la luz del sol no lo decolora ni lo afecta de ninguna manera. En la actualidad, la tinta china se fabrica usando negro de carbón, agua y algún agente aglutinante como gelatina o, más comúnmente, la goma laca. En ocasiones se vende en forma sólida, por lo que debe ser humedecida antes de su uso.

El papel carbón se inventó para ayudar a escribir a los ciegos

El papel de calco o papel carbón es un papel muy fino cubierto con una mezcla de cera y pigmentos, principalmente negro de carbón, de ahí su nombre. Se utiliza entre dos hojas de papel ordinario para hacer una o más copias de un documento original.



El origen exacto del papel carbón es algo incierto. El primer uso documentado del término “papel carbonatado” fue en 1806, cuando un inglés, llamado Ralph Wedgwood, solicitó una patente para su *Stylographic Writer*. Por otro lado, en 1808 el italiano Pellegrino Turri inventó una máquina para escribir,

probablemente una de las primeras máquinas de escribir (si no la primera) que funcionó con éxito. Dado que el “papel carbón” era esencial para el funcionamiento de su máquina, Turri desarrolló un tipo de papel carbón, prácticamente similar al que sería de uso común con posterioridad, casi al mismo tiempo, o incluso puede que antes, que Wedgwood.

Curiosamente, ambos hombres inventaron su papel carbón como un medio para el mismo fin: ambos intentaban ayudar a gente invidente a escribir mediante el uso de una máquina, y el papel carbón.

El *Stylographic Writer* de Wedgwood fue pensado para ayudar a escribir a los ciegos mediante el uso de un punzón de metal en vez de una pluma. Un pedazo de papel empapado en la tinta usada por los impresores y secado, era colocado entre dos hojas de papel de forma que se podía transferir una copia a la hoja inferior. Unos alambres de metal colocados horizontalmente sobre el tablero de escritura actuaban como guía para el punzón y, supuestamente, ayudaban a los ciegos a escribir. Algunos años más adelante, Wedgwood desarrolló la idea de un método para copiar cartas comerciales o privadas y de otros documentos. Estas copias se hacían en el mismo momento de la escritura, para lo que se usaba el papel impregnado en tinta, que Wedgwood llamó “papel carbonatado”. Aunque existió una compañía que comercializó el invento de Wedgwood, esta no tuvo mucho éxito dado que los hombres de negocios de aquella época prefirieron generalmente que sus cartas se escribiesen en tinta, temiendo que un proceso de copiado tan fácil diese lugar a la falsificación al por mayor.

Por su parte, Pellegrino Turri tenía razones muy personales para inventar el papel carbón. Se enamoró de la joven condesa Carolina Fantoni, que se había quedado ciega años antes. Turri decidió construirle una máquina que le permitiría mantener correspondencia privada con sus amigos (incluyéndole a él). Aunque la máquina que él construyó ya no existe, sí que se conservan algunas de las cartas que la condesa escribió con esta máquina. Estas cartas muestran que la invención de Turri combinaba el papel carbón y su máquina de escribir de la misma forma en que 65 años más tarde sería ya de uso más común con la invención de otra máquina de escribir más moderna y práctica para su uso comercial (la máquina de escribir *Remington* de *Sholes and Glidden*). El 6 de noviembre de 1808 la condesa escribió “*estoy desesperada porque me encuentro casi sin papel negro*”. Este papel carbón era preparado por Turri, que era su único proveedor. La máquina de escribir de Turri desapareció después de que le fuera entregada a su hijo tras la muerte de la condesa.

El papel carbón tuvo su momento de esplendor durante muchos años para la producción de copias de documentos escritos a máquina. Sin embargo, con la invención de la fotocopiadora la demanda de papel carbón comenzó a declinar hasta llegar a ser prácticamente erradicado del mercado con la aparición de los ordenadores personales y las impresoras. Pese a todo, el papel carbón se resiste a desaparecer por completo, y en cualquier caso antes de hacerlo ya ha dejado su “marca” en los modernos correos electrónicos, los cuales incluyen la abreviatura “cc” para indicar a los receptores de una “copia de carbón” del mensaje electrónico.

Fullerenos, nanotubos y grafenos

Fullerenos

Los fullerenos son macromoléculas tridimensionales con estructuras cerradas formadas exclusivamente de átomos de carbono. Los fullerenos son una forma alotrópica del carbono. Fueron descubiertos en 1985 por Harold Kroto (Universidad de Sussex), Robert Curl y Richard Smalley (Universidad de Rice), siendo reconocido su descubrimiento con el premio Nobel de química en 1996. Al hacer saltar arcos eléctricos entre electrodos de grafito, los científicos encontraron resultados extraños en los espectros de masas de las muestras de carbono evaporado. Tras varios estudios, se encontró que la mayoría de este material constaba de moléculas de 60 átomos de carbono (C₆₀) enlazados entre sí con una estructura similar a la de un balón de fútbol con 12 pentágonos y 20 hexágonos. Estos compuestos han recibido el nombre de fullerenos en honor a Buckminster Fuller, un arquitecto estadounidense que diseñaba cúpulas con este tipo de estructuras. Existen varios tipos de fullerenos, como el C₂₀, que es el más pequeño de todos y presenta únicamente 12 pentágonos. El C₇₀, detectado por la NASA en 2010, en la nebulosa planetaria TC₁, tiene una forma elipsoidal, parecida a la de un melón.

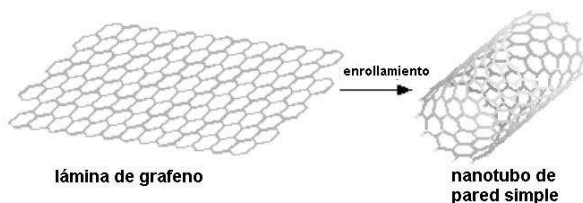


Estructura del fullereno C₆₀

Nanotubos y nanofibras de carbono

Los nanotubos de carbono (CNT), que fueron descubiertos en 1991 y desarrollados a partir de ese año, son unos materiales formados únicamente por carbono, donde la unidad básica es un plano grafitico enrollado en forma de tubo, cuyo diámetro es del orden de algunos nanómetros. Este tipo de nanotubos se denominan de pared simple (SWCNT) o monocapa. Los nanotubos de pared múltiple (MWCN) o multicapa, presentan varios cilindros concéntricos. Los nanotubos de carbono pueden presentar extremos abiertos o cerrados. En este último caso, estructuras similares a medio fullereno son las que cierran el extremo del nanotubo.

No existe una definición clara de las nanofibras de carbono (CNF). La tendencia es a considerar las nanofibras como materiales intermedios entre las fibras micrométricas (producidas por hilado) y los nanotubos. Las CNF fueron desarrolladas con objeto de producir unas fibras de carbono alternativas, y más económicas, a las obtenidas por hilado. Para ello se utilizaron como precursores hidrocarburos en forma de vapor, motivo por el cual estas fibras son denominadas fibras de carbono crecidas en fase de vapor (VGCF).



Estructura de un nanotubo de pared simple

Grafenos

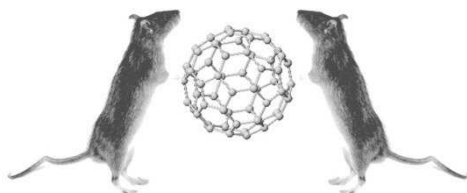
El grafeno es una monocapa de átomos de carbono, con la estructura hexagonal de las capas que forman el grafito tridimensional. El término *grafeno* debería aplicarse solo a capas individuales. Sin embargo, en la práctica se aplica a conjuntos de algunas capas de grafeno. En 2010 se concedió el Premio Nobel de Física a Andre Geim y Konstantin Novoselov, no por el descubrimiento del grafeno, ya que está descrito desde los años 30, sino por haberlo aislado y haber estudiado y descrito muchas de sus propiedades únicas. Sus bandas electrónicas lo definen como un semimetal, en una situación intermedia entre los metales convencionales y los aislantes. El grafeno es a la vez metálico, flexible y transparente, lo que le permite un gran número de aplicaciones; es muy rígido, siendo sus constantes elásticas las más altas medidas en un material, admite tensiones muy elevadas sin romperse, es muy impermeable, y no permite el paso de átomos y moléculas; es inerte químicamente, y mantiene sus propiedades a temperatura ambiente y presión atmosférica.

La calculadora más pequeña del mundo

En 2001 James Gimzewski, de IBM, Zúrich, entró en el libro Guinness de los records por haber construido la calculadora más pequeña del mundo. Gimzewski construyó una calculadora del tamaño de unos pocos nanómetros, que consiste en un ábaco hecho con 10 moléculas de fullereno que pueden moverse con la punta de un microscopio de efecto túnel. Proporcionalmente, esto sería equivalente a mover un

balón de fútbol con la punta de la torre Eiffel, lo cual no parece muy práctico.

Elixir ratuno

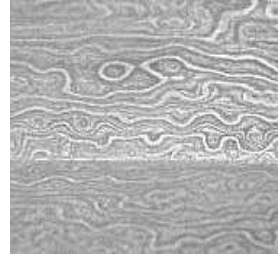


Científicos franceses y tunecinos han publicado un artículo (*Biomaterials* 2012; 19: 4936–4946), en el que afirman que la ingesta

de fullereno C₆₀ llegaba a duplicar la vida de las ratas que usaron en sus experimentos. El grupo de científicos quería comprobar si ingerir fullerenos era perjudicial para el organismo. Los investigadores suministraron varias dosis de C₆₀ mezclado con aceite de oliva (para dispersar los fullerenos) a varias ratas de laboratorio. Los resultados del experimento mostraron que el C₆₀ carecía de efectos tóxicos y que, mientras que las ratas que no recibieron las dosis vivieron una media de 22 meses, las que sí lo hicieron alcanzaron, en promedio, casi el doble de edad. El sorprendente resultado se debe, según los investigadores, a que el C₆₀ retrasa el proceso natural de oxidación de las células. ¿Tendrá el fullereno el mismo efecto en humanos?

El secreto del acero de Damasco

Las espadas de acero de Damasco eran muy afamadas por su fino borde de corte y su elevada resistencia al cuarteado. Sus filos eran capaces de cortar seda en el aire o de atravesar el hierro sin perder corte. Se cree que eran forjadas directamente a partir de pequeñas coladas de acero producido en la antigua India y conocido como *wootz*. Los herreros orientales aplicaban un sofisticado tratamiento de



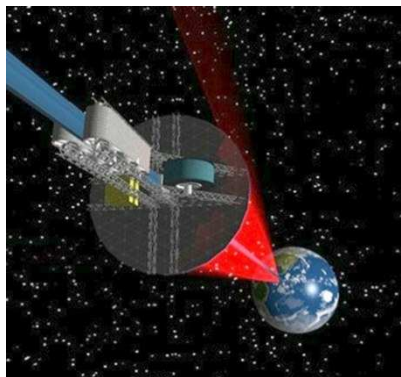
*Acero de Damasco
con sus
características
marcas*

forjado para refinar el acero hasta lograr una calidad excepcional, pero los herreros europeos fueron incapaces de repetir el proceso y su secreto se perdió por completo hacia mediados del siglo XVIII, sin que los metalúrgicos modernos hayan podido reproducir aquellas míticas hojas.

En noviembre de 2006, un grupo de científicos liderado por Peter Paufler, de la universidad de Dresde (Alemania), detectó nanotubos de carbono en el acero con el que se forjaron las espadas de Damasco, lo que podría explicar la fortaleza y el afilado borde que hicieron legendarias a esas armas en tiempos de los cruzados. Los investigadores, que presentaron sus resultados en una comunicación en la revista *Nature* (*Nature* 2006; 444:286), utilizaron un microscopio electrónico de transmisión de alta resolución para analizar una muestra de una espada de Damasco auténtica, fabricada en el siglo XVII

por el herrero Assad Ullah. Los nanotubos de carbono y de cementita (Fe_3C) se hicieron evidentes tras la disolución de la muestra en ácido clorhídrico. Algunos restos muestran pruebas de nanotubos de cementita que no se habían disuelto completamente, lo que indica que esas sustancias podían haber estado encapsuladas y protegidas por los nanotubos de carbono. Se cree que esos nanotubos se formaron como consecuencia de la acción combinada de ciertas impurezas de metales de transición presentes en el mineral de hierro de origen indio, que actuarían como catalizadores, e hidrocarburos producidos en la quema de la madera del horno. Lo curioso del caso es que, al tratar de optimizar el procedimiento de la forja, los artesanos de Damasco, aun sin saberlo, podrían haber utilizado los nanotubos de carbono más de 400 años antes de su descubrimiento.

El ascensor espacial



Uno de los aspectos más curiosos sobre los nanotubos de carbono es la posibilidad de fabricar un futurista ascensor espacial que se desplazaría por una cinta basada en materiales compuestos con nanotubos de carbono, muy ligera y tremendamente resistente. El

ascensor podría ser construido a partir de casi 40 000 kilómetros de nanotubos de carbono y sería capaz de

transportar hasta 20 toneladas al espacio sin emplear motores. La idea del Ascensor Espacial nació en 1966 en la imaginación del ingeniero ruso, Yuri Artsutanov, dentro de un artículo del diario Komsomólskaya Pravda (*В Космос — на электровозе, V Kosmos na Electrovoze, hacia el Cosmos en locomotora eléctrica*), aunque reconocía que la resistencia a la tensión necesaria para construir el cable no podía obtenerse con ningún material conocido en ese momento. No obstante, se hizo famosa de la mano del escritor de ciencia ficción Arthur C. Clarke, que se inspiró en ella para dos de sus novelas: *Las fuentes del paraíso* (1978) y *2061, odisea III* (1988). El escritor Charles Sheffield también menciona un ascensor espacial en su novela *La telaraña entre los mundos*, que fue terminada unos meses antes, aunque no logró publicarla hasta después de aparecer la novela de Clarke. El concepto, simple y elegante, consiste en conectar una estación espacial a la Tierra mediante un cable lo suficientemente largo que permita colocar en órbita naves de transporte. Para elevar el ascensor se emplearía un sistema de propulsión electromagnético. La base del dispositivo estaría en el Ecuador. Uno de los principales problemas a los que se enfrenta la tecnología es la ausencia de materiales lo suficientemente resistentes para diseñar el cable. En cambio, la nanotecnología podría solucionar el problema, dado que los nanotubos de carbono son 100 veces más resistentes que el acero. Sin duda, el ascensor espacial sería la solución al problema que supone el desorbitado coste que tiene actualmente la puesta en órbita de cualquier tipo de objeto o nave. Mientras que con los sistemas de propulsión actuales poner algo en órbita cuesta 22 000 dólares por kilo, el ascensor lo haría por algo menos de 1,5 dólares por kilo. Este

es sin duda un complicado proyecto, para el que no obstante ya se están dando los primeros pasos mediante la convocatoria de un concurso.

Cómo ganar el Premio Nobel con un lápiz y un poco de cinta adhesiva



En el año 2010, se concedió el premio Nobel de física a Andre Geim y Konstantin Novoselov, investigadores de la Universidad de Manchester que unos años antes habían conseguido aislar láminas de grafeno de una delgadez extrema, apenas una lámina de átomos de carbono. El grafeno ha supuesto una auténtica revolución en la tecnología de materiales de principios del siglo XXI ya que la extrema delgadez que pueden alcanzar estos materiales se refleja en una ligereza sorprendente combinada con una dureza considerable. Por si fuera poco, las propiedades del grafeno como conductor de electricidad lo convierten en un serio candidato a reemplazar al silicio como material básico de los transistores y circuitos integrados de los dispositivos electrónicos.

La manera en que Geim y Novoselov consiguieron aislar las láminas de grafeno fue tan sencilla como separar láminas de grafito mediante cinta adhesiva. Del mismo modo que al poner cinta adhesiva sobre la punta de un lápiz conseguimos arrancar tiras de grafito de la mina del lápiz, los dos

investigadores de la Universidad de Manchester perfeccionaron la técnica de arrancar capas de bloques de grafito mediante material adhesivo hasta conseguir láminas de una finura extrema.

Pantallas flexibles de grafeno

Desde el descubrimiento de Geim y Novoselov, la investigación en grafeno ha avanzado a un ritmo vertiginoso. En el año 2010, un grupo de investigación dirigido por Jong-Hyun Ahn y Byung-Hee Hong de la universidad coreana de Sungkyunkwan consiguió desarrollar electrodos transparentes en forma de láminas de grafeno de 76 centímetros de diagonal que pueden ser utilizadas como sensores de pantallas multitáctiles de dispositivos electrónicos. Este tipo de pantallas electrónicas, posibles gracias al grafeno, son flexibles y se puedan enrollar y doblar como si fueran papel.



Olimpiceno, los anillos olímpicos más pequeños del mundo

En vísperas de los Juegos Olímpicos de 2012 un grupo de investigadores pertenecientes a la Real Sociedad de Química del Reino Unido, la Universidad de Warwick e IBM ha

sintetizado y fotografiado una molécula de cinco anillos bencénicos que recuerda al símbolo de las Olimpiadas. En realidad, el olimpico (*olympicene* en inglés), que es como se ha bautizado a esta molécula, ya era conocido desde los años 60 (2H-benzo[cd]pireno) habiéndose publicado un artículo en el que se describe su síntesis en el año 1965. Sin embargo, el nuevo procedimiento para su síntesis es más eficiente y utiliza disolventes menos tóxicos. Por otro lado, el uso de la microscopía de fuerza atómica sin contacto ha permitido la obtención de imágenes de alta resolución. La molécula de olimpico, cinco anillos hexagonales en forma de panel de abeja, está relacionada con el grafeno y su fórmula química es $C_{19}H_{12}$. El tamaño de esta molécula es de 1,2 nanómetros de ancho, unas 100 000 veces más pequeña que el diámetro de un cabello humano. En cuanto a sus aplicaciones, una patente de Kodak, del año 2005, describe su uso para la fabricación de diodos emisores de luz, mientras que en otra patente estadounidense del año 2007 se describe el uso de este compuesto en la fabricación de un polímero higroscópico.

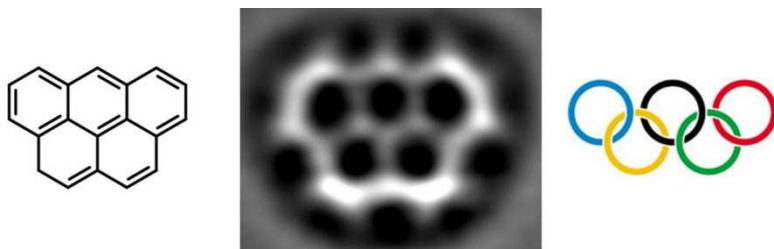
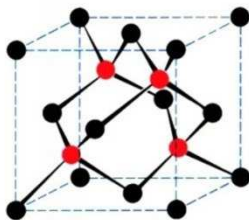


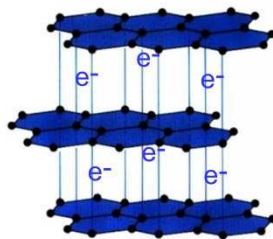
Imagen del olimpico (IBM Zurich / U. of Warwick / Royal Society of Chemistry)

Adamas: el más fuerte

Grafito y diamante son las principales formas alotrópicas del carbono. En el caso del grafito, los átomos de C presentan una hibridación sp^2 , lo que quiere decir que cada átomo se encuentra enlazado con otros tres mediante un enlace covalente, formando estructuras laminares. En el diamante, sin embargo, los átomos de C presentan una hibridación sp^3 , uniéndose cada uno de ellos a otros cuatro átomos de C mediante un enlace covalente y formando una estructura tridimensional. Así, el grafito es uno de los materiales más blandos, dado que las uniones entre planos grafiticos son muy débiles y es fácilmente exfoliable. Sin embargo, el diamante es la sustancia más dura que se conoce debido precisamente a esa estructura tridimensional de enlaces covalentes. De hecho, el término diamante proviene de la palabra griega *adamas* (αδάμας), “el más fuerte”.



Diamante sp^3



Grafito sp^2



Las estructuras atómicas del diamante y grafito hacen que el primero sea aislante y la sustancia más dura conocida, mientras que el segundo sea conductor de la corriente eléctrica y muy blando.

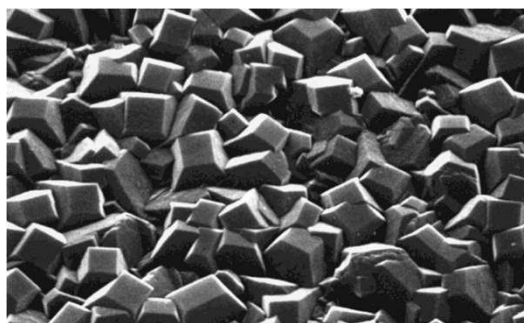
Diamantes naturales y sintéticos

La mayoría de los diamantes naturales se forman en procesos geológicos que tienen lugar a presiones y temperaturas muy elevadas, como las existentes a profundidades de 140-190 km de la corteza terrestre. Los diamantes son llevados cerca a la superficie de la Tierra a través de erupciones volcánicas profundas por un magma que se enfría en rocas ígneas conocidas como kimberlitas y lamproitas.



Los diamantes sintéticos se obtienen mediante procesos tecnológicos que implican el uso de altas presiones (> 100000 at.) y altas temperaturas (> 1000°C). Estas técnicas utilizan un líquido orgánico como fuente de carbono y un metal como catalizador. Los diamantes producidos así suelen denominarse diamantes HPHT, del inglés *high-pressure high-temperature*. Los primeros diamantes sintéticos con calidad de gema fueron producidos en 1970 por la General Electric.

Para preparar películas de diamante sintético a bajas presiones y temperaturas moderadas se han desarrollado diversos métodos basados en depósito químico en fase de vapor (del inglés *carbon vapor deposition*, CVD). Las técnicas más comúnmente utilizadas para preparar diamante monocristalino incluyen varios tipos de descarga por plasma, filamentos incandescentes, llamas de combustión, láseres de alta potencia, etc. En estos métodos, los gases que contienen carbono (CH_4 , C_2H_6 , C_6H_6 , etc.) son fragmentados, en presencia de H_2 , en especies atómicas o moleculares (neutras o ionizadas) por el plasma, el filamento incandescente o la llama. Utilizando estos métodos es posible formar capas de diamante monocristalino y policristalino (con tamaño de grano del orden de varios nanómetros a algunas micras) a temperaturas que varían entre 700 y 1000 °C y a presiones (del gas utilizado) menores a una atmósfera. La dureza de los recubrimientos de diamante microcristalino varía entre 30 y 60 GPa, según el proceso utilizado para su preparación.



Microfotografía de una capa de diamante sintético

Carbones tipo diamante

El carbón tipo diamante (traducción de *diamond-like carbon*, DLC) es un material carbonoso que se obtiene en forma de recubrimientos sobre sustratos mediante una técnica de depósito químico en fase de vapor. No se trata de cristales de diamantes como las películas de diamante sintético, sino más bien de un material de carbono amorfo que presenta propiedades similares a las del diamante. Para su obtención se utiliza una mezcla de hidrógeno e hidrocarburos gaseosos que son fragmentados, generalmente, mediante el uso de un plasma. Las especies que contienen carbono se depositan sobre el sustrato en forma de un material con una estructura amorfa metaestable en la que los átomos de carbono se unen mediante enlaces sp^2 y sp^3 . La mezcla de enlaces induce en los recubrimientos de este material propiedades extremas. Por ejemplo, su dureza es mayor a la del diamante microcristalino y es comparable a la del diamante natural; tiene una superficie más plana y un bajo coeficiente de fricción.



Un diamante NO es para siempre

La forma alotrópica estable del carbono, en condiciones atmosféricas es el grafito y no el diamante. Por tanto, de una forma estricta, el eslogan *un diamante es para siempre* sería falso, ya que en condiciones atmosféricas el diamante se irá transformando en grafito. Sin embargo, la transformación del diamante a grafito es tan lenta que no es posible detectarla a escala humana.

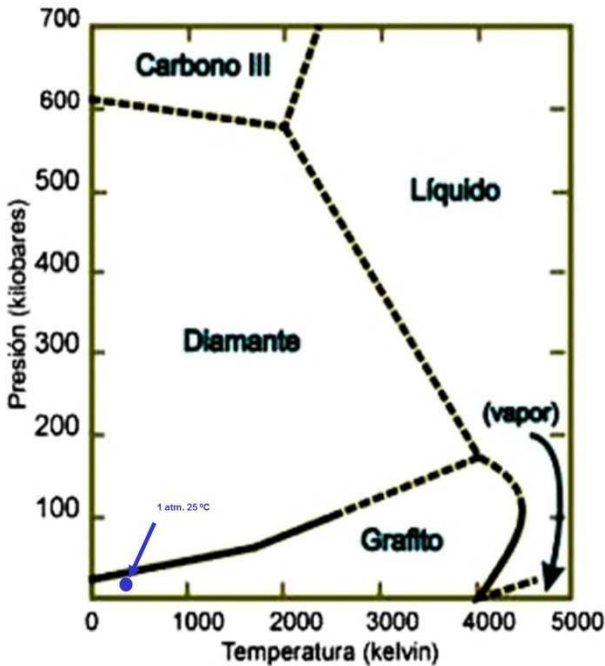
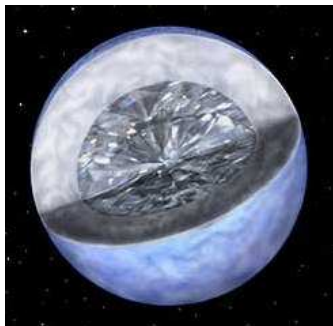


Diagrama de fases del carbono

Planetas de diamante



Planeta de diamante

El peso de un diamante se mide en quilates ($1\text{qt} = 0,2 \text{ g}$) y su precio suele aumentar con el número de quilates. El término proviene de la antigua palabra griega *keration* (κεράτιον), que significa “algarrobo”, porque las semillas de este fruto eran utilizadas en la antigüedad para pesar joyas y gemas debido a que supuestamente el peso de estas semillas, que es de aproximadamente $0,2 \text{ g}$, es bastante uniforme.

El diamante más grande de todos es el *Cullinan*, descubierto en la mina Premier de Sudáfrica en 1905. El *Cullinan* pesaba 3106 quilates antes de ser cortado. Cuando se talló se produjeron 105 gemas con un peso total de 1063 quilates. El mayor era una piedra con forma de gota llamada la *Estrella de África* que, con 530,2 quilates, es el diamante tallado más grande del mundo. En la actualidad está engastado en el cetro real británico. Sin embargo, este diamante podría ser de dimensiones despreciables si tenemos en cuenta que algunos astrónomos han planteado la posibilidad de que existan planetas que podrían tener gruesas capas de diamante debajo de su superficie. Ese tipo de planeta se desarrollaría de forma distinta a la Tierra, Marte y Venus, denominados planetas de silicato, en su mayoría constituidos por complejos de silicio-oxígeno. Los planetas de carbono podrían haberse

condensado a partir de un disco gaseoso rico en carbono o muy poco oxígeno, formándose carburos y grafitos en lugar de silicatos. Por otro lado, el grafito se convertiría en diamante bajo las presiones elevadas y potencialmente formaría capas de diamantes de un grosor de varios kilómetros. Los planetas que orbitan en torno al púlsar PSR 1257+12 pueden ser planetas de carbono. Otros buenos candidatos a planetas de carbono pueden estar ubicados cerca del centro de la galaxia, donde las estrellas tienen más carbono que el Sol.

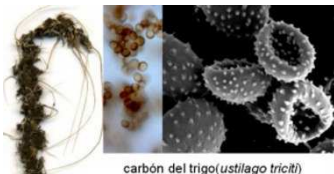
Diamantes negros extraterrestres

Los carbonados son diamantes negros, porosos y con propiedades raras como una fuerte luminiscencia. Tienen un posible origen extraterrestre ya que parecen haberse formado antes que la propia Tierra.

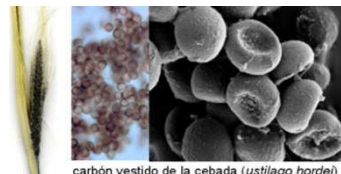
Los otros

Carbones vestidos y carbonos desnudos

Se conocen como carbonos todas las enfermedades causadas por hongos del género *ustilago*. Estos hongos destruyen parcial o totalmente los granos y el resto de la espiga, formando abundante polvillo negro. Se distinguen dos tipos de carbonos: los carbonos vestidos y los desnudos. En el caso de los carbonos vestidos el hongo destruye todo el grano, pero respeta las vainas. En los carbonos desnudos se destruyen la totalidad de las espiguillas, dejando solamente el eje. Hay dos grupos que difieren según la forma de transmisión de la enfermedad. Los carbonos de infección embrionaria, que producen la infección en el momento de la germinación: carbón vestido de la cebada (*ustilago hordei*), carbón vestido (*ustilago kolleri*) y desnudo (*ustilago avenae*) de la avena, y carbón del maíz (*ustilago maydis*). Los carbonos de infección floral, que causan la enfermedad en el momento de la floración, por esporas transportadas por el viento; carbón del trigo, caries o carbón hediondo (*ustilago tritici*), y carbón desnudo de la cebada (*ustilago nuda*). Otras enfermedades similares son el carbón de la cebolla, puerro y ajo (*urocystis cepulae*).



carbón del trigo (*ustilago tritici*)



carbón vestido de la cebada (*ustilago hordei*)

La nebulosa Saco de Carbón



La nebulosa Saco de Carbón es una nebulosa oscura en la constelación de la Cruz del Sur. Una nebulosa oscura (también llamada nebulosa de absorción), es una acumulación de gas o polvo interestelar no relacionado con ninguna estrella o alejado de estas, de tal forma que no recibe su energía, por lo que su presencia solo es advertida por contraste con un fondo estelar

poblado más lejano que la nebulosa. El Saco de Carbón es la más importante de este tipo de nebulosas y es visible a simple vista como un parche oscuro en la Vía Láctea. Aunque conocida en el hemisferio sur desde épocas prehistóricas, fue notificada por vez primera por Vicente Yáñez Pinzón en 1499. Fue llamada *il Canopo Fosco* por Amerigo Vespucci y también recibió el nombre de *Macula Magellani* (Mancha de Magallanes) o Nube Oscura de Magallanes en contraposición a las Nubes de Magallanes.

J. Ángel Menéndez Díaz

El carbón en la vida cotidiana **De la pintura rupestre al ascensor espacial**

¿Por qué las ruedas de los coches son negras? ¿En qué consiste la datación con carbono 14? ¿Qué originó la guerra de Cuba? ¿Por qué un diamante no es para siempre? ¿Es cierto que Edison no inventó la bombilla eléctrica? ¿Cuál era el secreto del acero de Damasco? A través de éstas, y otras curiosas cuestiones, se presenta una breve descripción del carbón y materiales de carbono, su origen y sus múltiples usos. Estos materiales, pese a haber estado presentes a lo largo de toda la historia de la humanidad -desde las pinturas rupestres, pasando por nuestros teléfonos móviles, hasta el futurista proyecto del ascensor espacial- han pasado bastante desapercibidos y son bastante desconocidos por el público en general. Sin embargo, la generación y almacenamiento de electricidad, los utensilios de acero o aluminio, la depuración del aire y el agua, aviones, automóviles, material deportivo y muchos otros objetos y procesos que hacen posible nuestra vida cotidiana, tal y como la conocemos, no serían posibles de no ser por ellos.

