

# ESTRUCTURA, MACRO Y MICROSCOPICA DEL CARBON

POR

LUCAS RODRIGUEZ PIRE

Catedrático de Química Técnica de la Universidad de Oviedo

## Importancia industrial del carbón

No es fácil precisar cuando comenzó a utilizarse el potencial energético del carbón. Aunque se pretende remontar al siglo IV a. de J. las referencias a este combustible, quizá la más antigua y precisa sea la de Aristóteles, quien lo definió como «cuerpo que contiene más tierra que humo.»

Teofrasto y Plinio lo mencionan, así como el uso que de él hacían los herreros y, a juzgar por su localización en Tracia, al norte de Grecia y en Liguria, al noroeste de Italia, debían referirse al lignito.

Marco Polo, en las crónicas de su viaje a China, a fines del siglo XIII, describió su empleo en aquel país. Con anterioridad a esta fecha, quizá ya en el siglo XI, comenzó la explotación en Europa, con carácter muy localizado, siendo probablemente en Sajonia donde la explotación alcanzó mayor antigüedad.

Hasta entonces, el único combustible utilizado era la leña y, como la construcción de edificios, barcos, etc., se hacía a base de



madera, llegó a constituir un serio problema la posibilidad de su agotamiento.

El crecimiento lento, pero constante, de la siderurgia agravó esta situación por el gran consumo de carbón vegetal que hacía esta industria, trasladada continuamente, de bosque en bosque, para asegurarse un combustible que rápidamente agotaba.

El uso doméstico del carbón tropezaba, aun en el siglo XVII, con las restricciones impuestas en muchas poblaciones, a causa del humo y hollín que producía. En el reinado de Enrique II de Francia, los herreros necesitaban una licencia especial para usarlo en París y quizá contribuyese y no poco, el uso que hacían de este combustible mineral, al mal concepto que la gente tenía de los forjadores y alquimistas.

A mediados del siglo XVIII, se comenzó a sustituir el carbón vegetal por el coque, en los hornos altos, lo que dió un impulso considerable a la extracción de la hulla.

A principios del siglo XIX, comienza el aprovechamiento de los productos de destilación de la hulla, utilizándose el gas como sistema de alumbrado, y mediado ya ese mismo siglo, se inicia la industria química orgánica de los derivados del alquitrán. La generalización del empleo del vapor, como fuerza motriz, fija en las disponibilidades de carbones minerales, la potencialidad militar, económica y por consiguiente política, de los distintos países, dibujándose ya como primeras potencias los Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Rusia, poseedoras de grandes riquezas carboníferas, fácilmente explotables.

Durante la primera guerra europea, la síntesis del amoniaco a partir de hidrógeno obtenido por gasificación del carbón, la hidrogenación a presión de carbones y alquitranes, etc., creó una formidable y variadísima industria química en la que gasolinas, colorantes, plásticos, productos farmacéuticos, etc., tienen su primera materia en el carbón.

Por esto, nada tiene de extraño que una multitud de investigadores y técnicos de todos los países hayan concentrado el esfuerzo de su trabajo en estudiar nuevas aplicaciones y un mejor aprovechamiento de una materia prima que, por los cuantiosos

capitales que moviliza y por la extensión casi ilimitada de sus aplicaciones, constituye hoy la base de toda la economía industrial.

Pudiera parecer que un tema de tan capital importancia y que tanto interés ha despertado estuviese ya casi agotado y, sin embargo, nada más lejos de la realidad. Con el carbón ocurre lo que con otros temas también de extraordinario interés para la humanidad, como el cáncer; se ha estudiado mucho y se sabe muy poco; a penas se ha salido del terreno de las conjeturas y, sin embargo, es evidente que para utilizar bien el carbón, es preciso conocerlo. Por eso, todos los países que ocupan un puesto destacado en la cultura universal dedican a su estudio sumas y esfuerzos considerables y también España se ha considerado en el deber de aportar su cooperación a este fin encomendado al Instituto Nacional del Carbón.

El vulgo tiene el concepto erróneo de que el carbón es un compuesto químico más o menos complicado, pero definido o definible. En realidad, se trata de un gel en el que se encuentran dispersas numerosas sustancias químicas de muy difícil separación y aislamiento, en un grado de polimerización muy variable de unos carbones a otros, dependiente de una compleja serie de circunstancias.

Si calentamos un trozo de hulla, observamos que se desprenden de él agua, materias volátiles en las que podemos identificar diversos hidrocarburos, compuestos amónicos, etc., etc.; pero tal procedimiento de disgregación es tan enérgico que no podemos asegurar que las especies químicas separadas existiesen previamente en el carbón o si se han producido por demolición de otros compuestos más complejos, bajo la acción del calor.

A semejanza de lo que ocurre en el estudio de los albuminoides, se siente la necesidad de disponer de medios de desarticulación más finos y menos destructores. Como decía, a este respecto, Carracido, no es el hacha sino el escalpelo el instrumento adecuado para la disección de delicadas estructuras anatómicas.

## Examen macroscópico

La observación directa del carbón nos permite reconocer en él una serie de caracteres diferenciales.

La *dureza* es muy variable, desde los lignitos muy blandos hasta la antracita, en la que suele estar comprendida entre 2,75 y 3 de la escala de Mohs. En las semiantracitas, suele ser de 2,5 a 2,75. En general, aumenta con el grado de carbonización.

El *color* varía del pardo, más o menos oscuro, de los lignitos al negro grisáceo y negro azabache de los carbones superiores.

El color oscuro es debido, según Donath, a la presencia de hidrocarburos resultantes de una destilación natural y, según Rammann, al carbono amorfo o a compuestos de alto contenido en carbono.

En algunas muestras, se aprecian *irisaciones* superficiales producidas por una oxidación de la película exterior, lo que puede revelar una alteración en fracturas no recientes. Esas irisaciones son sustituidas, poco a poco, por un brillo débil cada vez más apagado.

El *lustre* puede ser brillante, como en las buenas antracitas, o mate como en algunos carbones bituminosos y aun en algunas antracitas. En los lignitos, es siempre mate y aun terroso mientras que, en los carbones subbituminosos, varía del mate al brillante y satinado como el de algunos betunes sólidos.

El *trazo*, sobre porcelana sin baño, varía del amarillo al pardo en los lignitos y del pardo al negro en los carbones bituminosos, siendo tanto más oscuro cuanto mayor sea el contenido en carbono. Algunas hullas muy ricas en hidrógeno dan un trazo pardo parecido al de los lignitos.

Ya en 1887, distinguía Fayol<sup>1</sup> cuatro constituyentes macroscópicos en las hullas de Commentry, que designó con los nombres de hulla clara, hulla media, hulla mate y fuseno señalando que no todas las hullas estaban formadas por esos cuatro componentes, careciendo bien de la hulla media o de la hulla mate y dió a conocer las diferencias analíticas encontradas entre dichos componentes.

En 1919, M. Stopes<sup>2</sup> generalizó la diferenciación entre dichos componentes a los que dió los nombres de vitreno, clareno, dureno y fuseno, respectivamente.

Los autores alemanes adoptaron seguidamente para designar estos componentes los nombres de Vitrit o Glanzkohle, Durit o Mattkohle y Fusit o Fasserkohle, considerando al clareno, más que como componente definido, como una mezcla íntima de vitreno y de dureno, en la que podía predominar cualquiera de los dos. En los Estados Unidos, se adoptó la terminología propuesta por Thiessen<sup>3</sup> que comprende el antraxylon, equivalente al vitreno, el attritus, que corresponde al dureno y el mineral charcoal o fuseno, prescindiendo, como los autores alemanes, del clareno.

Frecuentemente, estos componentes se presentan en capas o bandas superpuestas, a veces muy delgadas y alternantes, sobre todo en las hullas bituminosas (con más de 26 por 100 de materias volátiles) formando las hullas listadas, Banded coal de los angloamericanos, Streifenkohle de los alemanes o charbon zoné de los franceses. (Fig. 1.)

La fractura de los carbones es otro de sus caracteres diferenciales; rara vez es plana; muy frecuentemente concoidal; es decir, formando superficies cóncavas.

La fractura concoidal suele ser característica de las rocas muy homogéneas y de fina estructura, como el sílex o las calizas litográficas y parece revelar una estructura coloidal.

Los carbones bituminosos dan una fractura cúbica; los subbituminosos irregular, desde una especie de cuadros a subconcoidal y los lignitos tienden a astillarse en fragmentos alargados, paralelos al lecho de estratificación, de aspecto irregular.

Los carbones bituminosos duros, como el dureno y la variedad conocida como splint coal muestran una fractura que puede ser astillosa hasta subconcoidal.

Las semiantracitas suelen ser frágiles y rompen en numerosos fragmentos pequeños de diversas caras.

Ciertas hullas del Ruhr ofrecen una fractura prismática que pa-

sa de un lecho de vitreno a otro de dureno, en el que se interrumpen.

La rotura se produce siempre según planos de mínima resistencia determinados por la laminación, la esquistosidad, la fisuración o cualquier otra irregularidad.

Las *diaclasas* son los planos de rotura que cortan al carbón independientemente de la estratificación o de los planos de separación de los distintos constituyentes.

En las capas de carbón se encuentran fundamentalmente dos series de fisuraciones, una, generalmente predominante, normal al lecho y paralela a la dirección de buzamiento y otra paralela al lecho, especialmente en la superficie de separación de dos constituyentes.

Las *grietas de contracción* son debidas a la disminución de volumen que acompaña a la desecación de un coloide, como el carbón, y por ellas suelen encontrar vía de penetración las impurezas minerales. Abundan, especialmente en el vitreno, por su estructura más homogénea y por su carácter más típicamente coloidal (Fig. 2).

Está bastante extendida la idea de que, en el hemisferio norte, las hendiduras y fisuraciones están preponderantemente orientadas hacia las dos del reloj de sol y en cambio en el hemisferio sur, en dirección perpendicular a la anterior<sup>4</sup>. Esto no tendría más explicación que un desplazamiento equatorial de la superficie debido al movimiento de rotación de la tierra; pero Moore<sup>5</sup> no ha podido confirmar tal hipótesis con datos recogidos en Norteamérica, Méjico y Canadá, donde no encontró tal uniformidad.

La *presión* produce numerosos cambios en la textura del carbón. La estructura *lenticular* resulta del efecto de una presión orientada en que el carbón se comprime sobre sí mismo, en el seno de una masa homogénea, interpenetrándose en cuña. Es más frecuente en los carbones de mayor plasticidad, como las antracitas, capaces hasta de embutirse en las fallas de las areniscas del muro y del techo.

Hay una variedad de antracita, denominada «ojo de pájaro» que presenta zonas concéntricas más claras y una estructura centrorradiada (Fig. 3.)

La estructura *cono en cono* es debida también a una presión. La textura interna es fibrosa y presenta en la superficie estrias circulares.

Cuando una capa de carbón ha estado sometida a compresiones mecánicas, se ha *mylonitizado*, según expresión de Duparque; es decir, que la capa se lamina en algunos puntos y se espesa en otros. Hasta ciertos límites, no se producen alteraciones en sus caracteres químicos y estructurales; pero si el fenómeno alcanza una cierta intensidad, pueden variar el contenido en materias volátiles y el grado de carbonización. La estructura se agrieta. Los planos de esquistosidad se multiplican en todos los sentidos y la roca se hace granulosa, bréquica y aun pulverulenta.

Son típicas estas estructuras en las antracitas del permo-carbonífero alpino. En ellas, el contenido en cenizas es alto por la facilidad de penetración de las aguas mineralizadas a través de sus numerosas y amplias grietas. Por efecto de la alta presión, la carbonización ha alcanzado un grado más alto, con el correspondiente descenso en el contenido de hidrógeno y elevación del de carbono; la dureza y la densidad son más elevadas y aunque la transformación no llega hasta el estado de gráfico, puede aproximarse.

### Microestructura de los carbones

A simple vista, no es posible reconocer en el carbón ninguna estructura que revele los materiales originales de que procede.

El examen microscópico permite una mayor diferenciación; pero requiere técnicas especiales que describiremos brevemente.

La observación microscópica puede hacerse por transmisión o por reflexión de la luz. El primero de estos procedimientos, muy empleado en los Estados Unidos, donde Thiessen fué el promotor de esta técnica que requiere cortes extraordinariamente finos, ha logrado algunos de solo 4 o 5 micras de espesor, aunque, habitualmente, suele ser de unas veinticinco micras, como los que se preparan para el examen microscópico de las rocas; pero con mayor dificultad aun en el caso de las hullas, a causa de su mayor fragilidad.

El procedimiento consiste en pulir perfectamente una superficie plana del carbón, normal o paralela al plano de extratificación; se seca bien; se introduce unos minutos en parafina líquida caliente; se seca nuevamente y se fija a un portaobjetos con Bálsamo del Canadá, adicionado a veces con caucho y laca dispersos en alquitrán de hulla. El grueso de la muestra se va desgastando con abrasivos, cada vez más finos, hasta alcanzar un adelgazamiento suficiente y uniforme, puliéndose entonces la superficie que queda libre.

Para el examen por reflexión, basta hacer un fino pulimento en una superficie, por una técnica análoga a la empleada habitualmente en metalografía, comenzando por un desbastado a mano seguido del empleo de abrasivos, cada vez más finos, sobre discos de vidrio o de fieltro, hasta que la muestra no presente estrías de pulimento. Esto es difícil de lograr en los carbones frágiles, de fractura irregular, especialmente en las antracitas y en algunas hullas.

Aunque la observación puede hacerse directamente en las superficies pulimentadas, generalmente se someten antes a un ataque que, al actuar más enérgicamente sobre unas superficies que sobre otras, permite destacar sus diferencias, lo mismo que en las observaciones metalográficas.

Una forma de ataque muy corriente consiste en pasar la preparación sobre una llama, después de haberla secado a 200-300°. De esta forma, algunos constituyentes se oxidan y otros permanecen más inalterados.

Otra forma frecuente de ataque consiste en someter la muestra, después de pulida, a la acción de la mezcla de Schulze (ácido nítrico concentrado y clorato potásico) o de la mezcla crómica (ácido sulfúrico y cromato potásico); oxidación con agua oxigenada concentrada seguida de tratamiento por una disolución alcalina; ataque por la tetralina (tetrahidronaftaleno) o por el oxícloruro de selenio, etc.)

En general, los carbones bituminosos se atacan con relativa facilidad, siendo más difícil de lograr en las antracitas y en las hullas brillantes. Algunos investigadores, como Duparque, prefieren prescindir del ataque, mientras que otros estiman que, sin ataque pre-



vio, pueden pasar desapercibidas algunas estructuras, sobre todo en la antracita.

El examen microscópico de los carbones revela:

- A) Una masa amorfa que sirve de cemento de unión.
- B) Residuos vegetales organizados.

La *masa fundamental* se caracteriza por su carencia de estructura; es homogénea, brillante, ocupa todos los espacios que quedan entre los cuerpos organizados depositados en ella y les sirve de cemento de unión, relleno hasta las cavidades más insignificantes, lo que revela su naturaleza coloidal y su formación por coagulación de sustancias orgánicas disueltas o pseudodisueltas en las aguas de la laguna hullera, aprisionando, en su contracción por desecación, a los cuerpos figurados que habían penetrado en ella, al sedimentarse.

Esta masa fundamental (*grundmasse* de los alemanes) constituye la casi totalidad del vitreno y puede presentarse formando, por sí sola, lechos de considerable espesor y gran extensión, especialmente en las antracitas o alternando con lechos más o menos ricos en cuerpos figurados o con fuseno, en los carbones listados. (Fig. 1).

En los lechos de esta masa se observan, como hemos dicho anteriormente numerosas fisuras, sensiblemente perpendiculares al plano de estratificación, debidas a la sinéresis del gel coloidal; es decir, a su contracción por pérdida de agua. Estas fisuras se rellenan frecuentemente de sustancias minerales, principalmente piritita, calcita o siderita.

Su origen ha debido ser el mismo que el de la *dopplerita* que se forma en las actuales turberas; es decir, una sustancia coloidal homogénea, constituida por los productos de descomposición química o microbiana de los tejidos y residuos vegetales, formando un gel irreversible o sea que, una vez seco, no tiene ya tendencia a absorber agua ni siquiera es soluble en ella, en el alcohol o en el éter.

La perfección, cada día mayor, de los medios de observación ha permitido descubrir en el vitreno (tal como antes quedó defini-

do) algunas partes provistas de una estructura vegetal muy difusa y difícil de percibir si no se emplean medios de ataque adecuados y otras en las que no existe realmente ningún indicio de estructura. Esto ha obligado a distinguir un *xilovitreño* o *provitreño* y un *euvitreño* o verdadera masa fundamental.

### B) *Cuerpos organizados*

Entre los cuerpos existentes en el carbón, con una estructura fácilmente identificable, tenemos:

- a) Las exinas de las esporas.
- b) Las cutículas de las hojas.
- c) Cuerpos resinosos.
- d) Fragmentos de tejido leñoso.
- e) Algas.
- f) Bacterias.

En general, la celulosa y la lignina de los tejidos vasculares y esclerenquimatosos son las partes más vulnerables a la descomposición y su estructura ha desaparecido, salvo en algunos fragmentos excepcionalmente protegidos por circunstancias especiales. Únicamente las esporas, el polen, las cutículas, los cuerpos resinosos y las algas han podido resistir, mejor o peor, a la acción destructora de las fermentaciones y de la oxidación debido, con toda seguridad, a su propia composición química, rica en sustancias grasas céricas o resinosas, generalmente inertes a la oxidación y a la acción de los disolventes naturales.

#### a) *Las exinas de las esporas.*

Su abundancia es extraordinaria en el *dureño* y muy especialmente en el *channel coal*, constituido casi exclusivamente por esporas.

Las esporas son las células reproductoras de las plantas criptógamas, especialmente las talofitas, las pteridofitas, las equisetales y las filicales. Las *microsporas* son las células masculinas de

las criptógamas heterosporiaceas, especialmente sigilaria y lepidodendron, las esporas únicas de las criptógamas insosporiaceas (helechos) y podemos aun considerar incluido entre estos cuerpos figurados al polen de las gimnospermas hulleras (cordaites). Son de muy pequeñas dimensiones (de 15 a 70 micras y su forma es aproximadamente esférica, apuntada en forma de tetraedro.

Las **macrosporas** o células femeninas, de mucho mayor tamaño, pueden alcanzar diámetros de 0,5 a 3 mm.

Las micro y macrosporas se forman en los esporangios, que constan de una zona cortical, varias capas de células y una capa de células madres. Se agrupan formando soros.

Las esporas constan, exteriormente, de una envoltura espesa y resistente llamada **exina** o **exospora**, estudiada químicamente por Zetzsche<sup>6, 7</sup> y<sup>8</sup> y colaboradores quienes designaron con el nombre de **esporopolenina** a la substancia que forma dicha envoltura. Interiormente, están tapizadas por una pared celulósica o **endospora** que, en los carbones, ha desaparecido quedando únicamente la más exterior cutinizada.

La esporopolenina da, por destilación, hidrocarburos y su proporción influye sobre el rendimiento en alquitrán de los carbones.

Las exinas de los carbones han sufrido una deformación, por aplastamiento, paralelamente al plano de estratificación y presentan, en un corte perpendicular a éste, una forma de saco frecuentemente plegado formando una Y por abatimiento del ápice llegando a ponerse casi en contacto las caras superior e inferior. En sección horizontal, presentan una forma más o menos circular o anular.

b) *Las cutículas* son tejidos de defensa contra la intemperie que recubren la epidermis de los vegetales impermeabilizándolos contra el agua y los gases. Ordinariamente, forma una sola capa en la superficie de los tallos y de las hojas, generalmente más espesa en el haz que en el envés, con pequeñas penetraciones en los espacios intercelulares de la capa subyacente por lo que las cutículas ofrecen casi siempre, en los carbones, un aspecto más o menos dentado en su parte cóncava.

Se encuentran siempre paralelas al plano de estratificación y,



en corte vertical, se aprecian frecuentemente las concavidades contrarias de la cutícula superior o inferior o el borde soldado de las mismas, aunque también es corriente observar trozos aislados. Su espesor es del orden de 0,05 mm. y su longitud puede alcanzar varios centímetros.

Legg y Wheeler<sup>9</sup> han analizado cutículas actuales, de pita encontrando: Cutina 55 por ciento; cera 15 por ciento y soluble en agua 10 por ciento. En cambio, en las cutículas fósiles, no encontraron más que cutina y cera.

La cutina de las plantas actuales es un cuerpo graso compuesto de éteres del ácido subérico y de otros ácidos grasos superiores. Según Zetzsche, la cutina procede de ácidos-alcoholes grasos, no saturados, de las series C<sub>18</sub> a C<sub>26</sub>, en que dichos ácidos grasos presentan formas lactónicas polimerizadas.

Ofrece grandes analogías con la suberina, existiendo formas intermedias que hacen muy difícil precisar si una pared está cutinizada o suberinizada.

Naturalmente, no es cosa fácil el aislamiento de tales cutículas fósiles y solo tiene un valor de aproximación cuanto se sabe acerca de su composición; pero parece indiscutible que contribuyen grandemente al rendimiento en alquitrán.

La resistencia de las cutículas a la descomposición es algo menor que la de las esporas y superior a la de las algas.

c) Los *cuerpos resinosos* son materias amorfas coloreadas que se endurecen al aire y se encuentran en casi todos los carbones, particularmente en el vitreno, en muy diversas formas: películas, tallos, capas hasta de 25 mm. de espesor, etc.

Algunos trozos de cordaites son muy ricos en resina. La de las coníferas es algo más clara, según Gothan.

Los lignitos son, generalmente, más ricos en resinas que las hullas. En el fuseno, se encuentran en el parenquina que rellena las células y Jurasky lo ha encontrado en el fuseno del lignito formando esférulas.

Las resinas fósiles son designadas con el nombre genérico de *ambar*; pero comprende diversas clases diferenciables por sus propiedades químicas. Son imputrescibles, por las esencias y subs-

tancias resinosas que contienen y se caracterizan por una fluorescencia azulada a la lámpara de cuarzo.

Hasta ahora, no se ha encontrado que desempeñen un papel esencial en las propiedades de los carbones.

d)) *Los fragmentos de tejidos leñosos* están formados por células esclerenquimatosas y células lignificadas que constituyen los vasos por los que circula la savia, sirviendo al mismo tiempo de protección y sostén a la planta.

Mejor o peor conservados y en mayor o menor cantidad, se encuentran o pueden encontrarse en toda clase de carbones.

El fuseno está formado por tejidos, en general bien conservados, en que la materia de relleno de las células es pulverulenta y, en tal caso, suele presentarse en masas más o menos lenticulares. (Fig. 4). Algunas veces el relleno celular está formado por una sustancia brillante y compacta, análoga a la que hemos definido como masa fundamental formando, entonces, el llamado *x i l e n o*. Una modificación más profunda hace apenas perceptible la separación entre la pared celular y la sustancia de relleno como si la estructura celular hubiese participado en la gelificación general, sin previa solución y conservando los contornos primitivos, en una especie de pseudomorfosis, designándose entonces con el nombre de *x i l o v i t r e n o*.

Estos tejidos leñosos, formando masas laminares o lenticulares de fuseno, se encuentran muy irregularmente distribuidas en toda clase de carbones. Por efecto de la presión, aunque quizá concurren otras circunstancias, las células del tejido leñoso presentan en algunos carbones no la forma más o menos redondeada que les es habitual sino una forma estrellada, con líneas arqueadas, a lo que Stach ha llamado *B o g e n s t r u k t u r*.

Por destilación, dan muy poco rendimiento en materias volátiles. Su análisis acusa un mayor contenido en carbono, más bajo en hidrógeno y muy elevado en cenizas. El fuseno es un componente indeseable por la fragilidad que comunica al carbón, por su tendencia a la formación de polvo fino, capaz de originar explosiones y porque no coquiza y entorpece la coquización.

e) *Las algas*, plantas acuáticas existentes en todos los mares y

lagos actuales, han originado, por su intensa proliferación, depósitos importantes hasta llegar a llenarlos de una densa flora subacuática, como en los grandes lagos del norte de Alemania.

Su descomposición origina un gel ó g e l o s a y, según Chodat, el protoplasma que rellena las células segrega un aceite residual.

Al gel actual existente en los lagos, como el que llena uno, cerca de Stettin, Potonié lo ha designado con el nombre de s a p r o - p e l i o.

Al fosilizarse, el sapropelio se endurece adquiriendo una consistencia elástica y recibe, entonces, el nombre de s a p r o c o l a. La gelosa, que sirve de substrato a las células, persiste y es perceptible en las preparaciones mientras que los albuminoides se destruyen. El aceite se resinifica y, al oxidarse, se endurece.

Por comparación de las algas actuales con las algas fósiles, se ha encontrado explicación a la formación de los carbones llamados b o g h e a d compactos, sonoros al golpe de martillo, de fractura concoidal, que contienen de 60 a 70 por 100 de materias volátiles.

David, Bertran y Renault han descrito con el nombre de p i l a las algas fósiles del boghead de Autun. Zalesky, estudiando los geles de las algas actuales de Rusia y de Siberia, dedujo que la pila permiana está formada por b o t r y o c o c c u s muy corrientes en la actualidad.

En la c o o r o n g i t a formada por algas fósiles del boghead de Australia ha identificado Thiessen algas pertenecientes al género R e i n s c h i a que, según P. Bertrand, pertenecen a las v o l - v o c á c e a s.

Las bacterias han sido encontradas en los tallos de las plantas carboníferas por Tieghem, en 1879. Renault confirmó su existencia que fué negada por Potonié.

Moret<sup>10</sup> confirmó también su presencia identificando en los tejidos parenquimatosos de las plantas hulleras del carbonífero inferior el *Micrococcus Guignardi*, el *M. hymenophagus* y *Bacillus anthracis*.

Según White y Thiessen, se encuentran tanto en la turba superficial como en los medios más profundos y de mayor evolución

lo que permite suponer que habrán tenido alguna intervención en la formación de los carbones.

Existen, por último en los carbones *materias minerales*, generalmente muy dispersas en la masa del combustible, constituyendo las cenizas.

En algunos carbones, se observan interestratificaciones de capas arcillosas o de areniscas más o menos gruesas y continuas.

En los carbones formados en aguas muy mineralizadas, se han debido recubrir las plantas de una costra generalmente carbonatada y hasta producirse concreciones calcáreas, magnesianas o ferruginosas formándose una especie de migraciones minerales o diagénesis.

En las antracitas muy mylonitizadas del carbonífero alpino, se encuentran depósitos de cuarzo o de calcita en la red de fracturas, desde la falla de varios centímetros de espesor hasta las más pequeñas diaclasas submicroscópicas.

### Preparación de macrósporas

#### *Antecedentes*

Los primeros ensayos de aislamiento y separación de componentes microscópicos del carbón fueron hechos por Greppert en 1836, por combustión parcial del carbón e investigación de las cenizas.

El verdadero descubridor del procedimiento de maceración del carbón, fué Franz Schulze, de Rostock quien, en 1885, publicó un corto trabajo, de apenas tres páginas, sin pretensiones, al cual se han referido y seguirán refiriéndose constantemente cuantos se ocupan de esta cuestión. Establece en él un tratamiento químico de pequeños fragmentos de carbón, conocido como «disolución de Schultze» que consiste en una oxidación por mezclas de ácido nítrico y clorato potásico.

Desde entonces, la mezcla de Schulze se hizo de uso general, incluso para estudios de Paleontología y de Botánica actual.

Muy recientemente se ha introducido el uso de un nuevo método de maceración: el de Zetzsche.

### *Fundamentos del procedimiento de maceración*

La maceración tiene por objeto separar los cuerpos bituminosos de los geles coloidales que los rodean. Estos coloides, producto de la carbonización de elementos de naturaleza celulósica y de lignina, del material original de las plantas, son más fácilmente oxidables que las substancias bituminosas.

Esta diferencia de comportamiento entre las llamadas humina y bitumina, hace posible una cuidadosa oxidación que ataca completamente a la humina (masa fundamental) pero no a la bitumina. Rigurosamente, no hay ningún oxidante que ataque exclusivamente a los coloides húmicos y para disminuir el desgaste de las materias bituminosas, en este caso las esporas, se halogena el carbón, con lo que el halógeno se fija en los dobles enlaces disminuyendo su capacidad de tomar oxígeno. Este principio fué utilizado, sin darse cuenta aun, por Schulze, al añadir clorato potásico en su procedimiento. En la mezcla de Schulze se produce cloro naciente que provoca una cloración del carbón.

En el método de Zetzsche, se produce intencionadamente una halogenación, mediante una adición de bromo, antes de que el propio proceso de la maceración avance.

### *Estado en que se encuentran las esporas*

El proceso de maceración está sujeto a ciertas limitaciones, particularmente con respecto al estado en que se encuentran las esporas.

En primer lugar, la resistencia de éstas a la carbonización es limitada, ya que, durante la formación de las capas de carbón, la bitumina es afectada, aunque en menor proporción que la humina, por el proceso mismo de la carbonización consistente en pérdida de oxígeno y especialmente de hidrógeno; pero, al fin, experimentan también su pérdida de hidrógeno y un cierto grado de carbonización.

Según Zerndt, se pueden aislar las megasporas, aun en buen estado en carbones que tengan, por lo menos, 25 por 100 de materias volátiles. Dijkstra lo confirma, pero con algunas excepciones.



Para las micrósporas, el límite, según Raistrick, estaría en el 15 por 100 de materias volátiles, límite que ha sido confirmado por Bode.

Los carbones fuertemente carbonizados presentan frecuentemente bandas de megasporas cruzadas por cortes transversales de curso irregular.

Probablemente, el estado de conservación de las macrósporas y su macerabilidad dependen mucho del contenido en azufre del carbón. Según Kirchheimer, un alto contenido en azufre hace que el bitumen sea más fácilmente atacable por el oxígeno y que la cutícula de la espora sea menos elástica.

#### *El método Schulze*

En este procedimiento, 10 gramos de carbón, en trozos de 3 a 5 mm. se mezclan con una cantidad igual de clorato potásico. El conjunto se deja uno o dos días con, aproximadamente, tres veces su peso de ácido nítrico concentrado. El carbón queda, así, sometido a sucesivas acciones oxidantes:  $O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $ClO_3H$ ,  $ClO_2$ , oxígeno naciente y cloro naciente, siendo estos dos últimos los más especialmente activos.

Los productos de la oxidación de la humina, los ácidos húmicos que se forman por este proceso, son solubles en lejía alcalina y, para eliminarlos, se tratan durante un día, o más, con KOH o NaOH al 10 por 100. Los cuerpos bituminosos pueden aislarse, entonces, por lavado con agua sobre un tamiz fino, de 0,1 mm. de anchura de malla y, finalmente, se secan. En atención a las circunstancias, se han ido introduciendo en este método algunas modificaciones.

En primer lugar, suele suceder que queda un residuo difícilmente macerable que es preciso descomponer por sucesivos tratamientos, en cuyo caso se trabaja escalonadamente. A veces, se hace algún tratamiento previo, como hervir con ácido sulfúrico concentrado (Gümbel), dos o tres tratamientos con lejía de potasa saturada y caliente (Thomas), algunos días de ablandamiento en piridina (Raistrick) o calentamiento con una disolución alcohólica de KOH al 10 por 100 (Skilling).

La concentración del ácido nítrico debe oscilar entre un 52 por 100 (p. e. 1,33) y un 85 por 100 (p. e. 1,47).

En los carbones difícilmente macerables, el ataque debe durar una semana o más, con sucesivas adiciones de ácido nítrico, según Thiessen, y tanto este autor como Lange y como Shimakura calientan con mucho cuidado después de varios días de tratamiento, lo que ofrece un cierto peligro.

Para la disolución del ácido húmico, suele usarse KOH al 10 por 100; pero tanto Ibrahim como Loose emplean una concentración del 5 por 100; es decir casi normal. Otros investigadores han empleado amoniaco a concentraciones variables desde el 10 al 25 por 100. Dura aproximadamente un día y calentando se puede abreviar. Las macrosporas ya aisladas pueden lavarse con ácido nítrico diluido.

#### *El método de Zetzsche*

Zetzsche y Kälin publicaron en 1932 un método para aislar bitúmenes polímeros (membranas de esporas, cutículas, et.) del carbón. Este método que fué concebido con el propósito de aislar *substancias* bituminosas, fué empleado por Zerndt, en 1934, como método de maceración para la preparación de *cuerpos bituminosos*, no destruidos, de las esporas. Este método, publicado en 1936, por Sahabi, colaborador de Zerndt, consiste en lo siguiente: El carbón, después de molido, se tamiza tomándose los tamaños comprendidos entre 2 y 5 mm.

10 gramos del mismo se ponen en un matraz de litro, con tapón esmerilado, se añaden de 3 a 4 c. c. de bromo y se tapa. Se agita y se deja en reposo de 3 a 4 horas, agitando de cuando en cuando. Se añaden luego de 150 a 250 c. c. de ácido nítrico fumante (p. e. 1,52), en pequeñas cantidades y agitando, bajo constante refrigeración del matraz, bien por introducción en hielo machacado o en agua enfriada con hielo. La cantidad necesaria de ácido nítrico aumenta con el grado de carbonización, así como la duración de la maceración, cuyo final se conoce en que, al agitar, no queda adherida a las paredes ninguna partícula gruesa. Después de

cuatro, hasta doce y más horas, según la clase de carbón, se diluye el contenido introduciendo en el matraz hielo finamente machacado; finalmente, se añade agua fría hasta llenarlo. Durante todo este tiempo, el matraz debe permanecer en hielo o en agua helada y debe agitarse de vez en cuando.

Se decanta luego sobre un tamiz de gasa, bajo un constante chorro de agua, hasta que esta pase clara. Se seca entonces el residuo que queda en el tamiz, a 50° y se investigan las esporas.

Se necesitan guantes de goma y también es aconsejable una careta contra gases.

Gracias a la alta resistencia de la membrana de las esporas, después de bromada, puede emplearse ácido nítrico fumante que tiene la ventaja de disolver los productos de oxidación de las huminas con lo que se evita el tratamiento posterior con lejía alcalina, aunque éste pueda ser también útil.

La acción del bromo es doble ya que se fija por adición y por sustitución. En esta última forma deja hidrógeno en libertad que da con el exceso de bromo, ácido bromhídrico que se observa en forma de vapor blanco. A poco de añadir el bromo, se desprende tanto BrH que, por presión, puede hacer saltar el tapón de vidrio y, para evitarlo, se suele emplear una caja metálica, con capacidad para doce matraces, en la cual se sujeta a rosca el tapón.

Sahabi aconseja que se seque el matraz con arena antes de bromar porque la presencia de agua impide la acción oxidante parcial del bromo sobre el carbón. También debe cuidarse que la bromación se haga en el ambiente más frío posible para que la proporción entre la adición y la sustitución sea la más conveniente.

Solo este procedimiento, con bromo y ácido nítrico fumante permite asegurar un recuento de las macrósporas y obtenerlas en mejor estado, sin partículas adheridas, siendo la maceración más completa que por el método de Schulze. Se obtiene mucho menor cantidad de macerado, la concentración de esporas es por tanto mayor y más fácil la observación.

### *Tipos de esporas*<sup>11</sup>

Se distinguen seis géneros de esporas:

- 1.—Triletes.
- 2.—Cystosporites.
- 3.—Monoletes.
- 4.—Esporas de calamariaceas.
- 5.—Microsporites.
- 6.—Micrósporas en su esporangio.

El género más importante y más variado en especies características es el *Triletes*. Presentan simetría radial y se caracterizan por tres líneas de sutura que parten del centro de la cara proximal, formando arcos que van hasta la cara distal, limitando las superficies de contacto entre las esporas hermanas que han formado una tetrada. La cara distal es plana. Su genotipo es el *T. glabatus* (Zerndt).

El género *Triletes* se divide en cuatro secciones:

- A.—*Aphanozonati*.
- B.—*Zonales*.
- C.—*Lagenicula*.
- D.—*Triangulati*.

Las *Aphanozonati* son grandes, redondas u ovals, sin apéndices zonales, con crestas arqueadas generalmente presentes, sin fuerte elevación apical, que abarca aproximadamente la mitad del hemisferio proximal. Son de membrana gruesa y a veces fuertemente punteada. (Fig. 5).

Las *Zonales* de tamaño mediano o grande, se caracterizan por un anillo o collar ecuatorial que, en algunos casos, está formado por una especie de fleco anastomosado constituido por exosporas o por perisporas. (Fig. 6).

Las *Lageniculas* son de tamaño medio, de forma aplastada, parte apical destacada, con crestas arqueadas y carecen de collar ecuatorial. (Fig. 7).

Las *Triangulati*, de tamaño mediano o algo menor, se caracterizan por un collar ecuatorial prolongado en sentido radial, en for-

ma de triángulo de tipo membranoso y delgado, como la propia pared de la espora. Sus crestas arqueadas llegan hasta la zona equatorial. (Fig. 8).

Las *Cistosporites* ó megasporas-semillas ofrecen una simetría radial muy imprecisa. Las formas fértiles son muy grandes, en forma de saco. Las crestas arqueadas típicas de los Triletes son aquí muy pequeñas. La pared es más gruesa en los bordes y translúcida en la parte media. Las formas abortivas son ovales ó alargadas. Algunas permanecen unidas a las fértiles de la misma tetrada. La parte apical, característica de los Triletes, suele estar cubierta por una masa de películas. La membrana es gruesa y de carácter fibroso, poco marcado. (Fig. 9).

Las *Monoletes* están formados por polen ó esporas de distintas clases. Schopf les ha dado el nombre de prepolem. Son de forma oval bilateral, su tamaño varía entre 20 y 700 micras; son de color claro amarillento y presentan dos surcos, en forma de arco, paralelos al borde de la cara distal, y un surco rectilíneo, en el centro de la cara proximal que, a los extremos, se bifurca en forma de V. (Fig. 10).

Las esporas de *Calamariaceas* son redondas con un aplastamiento oval. Su pared es muy delgada, de color pardo rojizo, lisa, translúcida, brillante y carente de relieves y está fuertemente plegada. Presentan imagen triradial, pero casi siempre sin crestas en arco. (Fig. 11).

Las *Microsporites* son de pequeño tamaño (0,1 á 0,15 mm.), de forma redondeada, con collar generalmente triangular. Del centro de la espora divergen líneas arqueadas poco visibles. El cuerpo de la espora es pardo amarillo y el collar amarillo. (Fig. 12).

Las *Microsporas en esporangio* son generalmente de forma oval. El tamaño del esporangio es del orden de un milímetro. Fig. 13).

Para la identificación de las capas de carbón, solamente se utilizan unos veinte tipos. Se recuenta el porcentaje de cada uno de ellos y este porcentaje es característico de cada capa.

## Termonología petrográfica comparada

El perfeccionamiento, cada vez mayor, de los medios de observación microscópica ha creado una terminología que ha adquirido en los últimos años bastante complicación y que fácilmente induce a confusiones.

Thiessen <sup>12</sup> y con él todos los investigadores americanos tuvieron que renunciar a su simplificada nomenclatura, empleada hasta 1937, que se reducía a la distinción entre anthraxylon, attritus y mineral charcoal.

Empezando por reconocer una primera diferenciación entre carbones listados y no listados, hubieron de clasificar los primeros en *bright coals*, *semisplint coals* y *splint coals*, subdividiendo los primeros en cinco grupos: 1.—Carbón listado brillante típico, 2.—Carbón rico en esporas, 3.—Carbón resinoso; 4.—Carbón rico en cutículas (*paper coal*) 5.—Carbón de cortezas (*bark coals*).

En Europa, ha persistido la clasificación inicial de Stopes; pero con numerosas variaciones.

Los autores alemanes, con excepción Kühlweinn, han prescindido del clareno.

En Holanda, Jongmans y Koopmans <sup>13</sup>, prescindiendo también del clareno, establecen un nuevo grupo: el *teleno* (*Telit*) caracterizado por fragmentos celulares, impregnados de vitreno cuyo material rellena los espacios celulares, y adoptan nombres compuestos para distinguir los distintos tipos de transición.

En Inglaterra, Stopes <sup>14</sup>, propone el nombre genérico de *macerales* para designar los distintos elementos figurados que pueden distinguirse en los carbones, reservando los tipos petrográficos hasta entonces usados para referirlos a los *tipos de roca* ó componentes macroscópicos. Cady <sup>15</sup> ha propuesto como complemento ó sustitución al nombre de macerales el de *fiterales* para designar a todas las formas vegetales fósiles. Habiendo sido universalmente objetada la definición del vitreno como «componente brillante desprovisto de estructura,» por haberse encontrado en este componente partes con estructuras más o menos difusas, hace Stopes una división del mismo en *euvitreno* y *provitreno* y el primero lo sub-

divide en *ulmeno* (*ulmain*), definido como «materia vegetal completamente gelificada que puede limitar en trozos parcialmente gelificados» y en *coleno* (*collain*), definido como «compuestos úlmicos precipitados de una solución» o sea lo que Duparque<sup>16</sup> y Potonié<sup>17</sup> han llamado «gel de redeposición.»

Entre los macerales, distingue Stopes *vitritina*, *fusinita*, *xylinita*, *exinita*, *cutinita*, *micronita*, (resíduos) y *suberinita*.

Esta modificación de la nomenclatura supone divorciar la sustancia de la forma.

Con el propósito de coordinar y definir esta copiosa terminología, fué sometido este tema a las deliberaciones del Segundo Congreso de Estratigrafía del Carbonífero, celebrado en Heerlen en 1935, siendo discutido por una ponencia en las que estaban representadas Inglaterra, Alemania, Austria y Holanda. En los acuerdos, redactados por Seyler y recogidos por Jongmans, Koopmans y Roos<sup>18</sup> se adoptaron como nombres correspondientes a los tipos de roca (*Streifenarten*, en alemán) los que ya estaban en uso en los distintos países, incluyendo el clareno.

Para los elementos micro-petrográficos, se adoptó el término *macerales* propuesto por Stopes o su equivalente alemán *Mazeralien*, con la alternativa de *Gefügebstandteile*.

Los nombres particulares propuestos por Stopes para los distintos macerales fueron aceptados; pero se consideró preferible utilizar los de *colinita* y *telinita* (en vez de *euvitritina* y *provitritina*) y distinguir las distintas telinitas según su origen botánico, tal como *xylinita*, *perilibnita*, *suberinita*, etc.

Se adoptó también el nombre de *ulminita* para designar la vitritina desprovista de estructura. Se conservó el de *fusinita* como maceral del fuseno; pero se consideró necesario introducir el de *semi-fusinita* para indicar un material intermedio entre la fusinita y la vitritina.

Los nombres de *resinita* y *exinita* se conservaron con su conocido significado, pero la *cutinita* y *esporinita*, aunque aprobados se consideraron de uso innecesario por estar incluidas en la *exinita*.

En vez de la palabra *micronita*, que designa el residuum opaco

del dureno, se adoptó la forma *micrinita* por analogía terminal con los demás macerales.

Hoffman<sup>19</sup> ha resumido las designaciones de los macerales y las que, para tipos de roca, se utilizan en distintos países, en un sencillo cuadro que transcribimos:





## BIBLIOGRAFIA

- (1) FAYOL.—Bull. Soc. Ind. Min.—Vol. 2-XV—p. 546 (1887).
- (2) M. STOPES.—Proc. Roy. Soc. (B)—Vol. 90—p. 470-485 (1919).
- (3) R. THIESSEN.—Journ. of Geol.—Vol. XXVIII—p. 183-209 (1920).
- (4) KENDALL.—The Physiography of the Coal Swamps.—90.<sup>a</sup> Reunión B. A. Adv. Sci.—p. 71-78 (1922).
- (5) MOORE.—«Coal».—John Wiley & Sons—New York—p. 10 (1940).
- (6) ZETZSCHE y HUGGLER.—Untersuchungen über die Membran de Sporen und Pollen-I.—Ann. Chem.—p. 89-108 (1928).
- (7) ZETZSCHE y VICARI.—Untersuchungen über die Membran der Sporen und Pollen-II—Helvetica Chimica Acta—Vol. 14—p. 58-62 (1931).
- (8) ZETZSCHE y VICARI.—Fossiles Sporopollenin aus dem Tasmanit und der moskauer Braunkohle—Helvetica Chimica Acta—Vol. 14—p. 67-78 (1931).
- (9) LEGG y WHEELER.—Plant cuticles—J. Chem. Soc.—p. 2.444 (1929).
- (10) L. MORET.—«Manuel de Paléontologie végétale»—Masson—Paris (1943).
- (11) DIJKSTRA y van VIERSSEN TRIP.—Mededeelingen van de Geologische Stichting—Serie C—III-1—Vol. 1—p. 26-65 (1946).
- (12) R. THIESSEN.—Pro. Fuel Eng. Conf. Fuel Eng. Div. Appalachian Coals Inc.—Vol 4—p. 211-272 (1937).
- (13) JONGMANS y KOOPMANS.—Geol. Bur. Heerlen Jearbook—p. 49-63 (1934).
- (14) M. STOPES.—Fuel—Vol 14—p. 4-13 (1935)
- (15) G. CADY.—«Chemistry of Coal Utilization»—Lowry Edit.—John Wiley—London—Vol. I—p. 98 (1945).
- (16) A. DUPARQUE.—Ann. Soc. Geol. Nord.—Vol 51—p. 51-64 (1926).
- (17) R. POTONIE.—Deut. Geol. Ges.—Vol 78—p. 348-380 (1926).
- (18) W. J. JONMANS, R. G. KOOPMANS y G. ROOS.—Compt. Rend. Deuxième Congr. l' avance Etudes Strat. Carbonifère, Heerlen (1935).
- (19) E. HOFFMANN.—Comt. Rend. Deuxième Congr. l' Avance Etudes Strat. Carbonifère, Heerlen, (1935).