

EL ESTUDIO MICROSCOPICO DEL CARBON

Por V. HEVIA RODRIGUEZ *

La importancia que en los últimos años se ha venido dando a los estudios sobre la microscopía del carbón, (no solo en lo referente a la identificación y sincromismo de capas, sino también como medio para la definición de sus propiedades de utilización), y la escasez de bibliografía española sobre este tema, nos ha indicado la conveniencia de traer aquí estas notas que puedan servir de introducción y guía en los trabajos que sucesivamente se vayan publicando como resultado de las investigaciones que se llevan a cabo en nuestros laboratorios.

INTRODUCCION

El estudio macro y microscópico del carbón se inició hace más de cien años cuando Witham en 1830¹ y Hutton en 1833² efectuaron las primeras observaciones microscópicas. En el año 1885 Wethered³ reconoció bandas mates y brillantes en los carbones bituminosos y desde entonces los trabajos se multiplicaron.

Pero en realidad fué Stopes en 1919⁴ quien sentó las bases de la petrología hullera al definir los cuatro constituyentes macroscópicos de los carbones bituminosos: vitreno, clareno, dureno y fuseno, componentes que, por otra parte ya habían sido reconocidos anteriormente por Fayol en 1887⁵ quien los describió con detalle dándoles nombres cuyo uso solo alcanzó escasa difusión.

No se expondrá aquí una historia ni un resumen bibliográfico completo. Una documentación abundante puede encontrarse en las obras de Stopes y Wheeler⁶, Duparque⁷, Stach⁸, Horton, Randall y Aubrey⁹, Cadly¹⁰, Horton¹¹ y otros. La bibliografía española sobre microscopía del carbón es esca-

sa. Se encuentran referencias de Pertierra¹², Castells y de la Concha¹³, Gómez Aranda¹⁴, Pintado¹⁵, Rodríguez Pire¹⁶, Bonet¹⁷ y otros.

En el presente trabajo, antes de entrar en la definición de la estructura, se exponen los métodos microscópicos de estudio empleados en los carbones, describiéndose después aquella a la vez que se da la nomenclatura, la cual se compendia una vez conocidos los conceptos fundamentales. Finalmente se hace un bosquejo muy breve sobre el estado actual de la petrología hullera y su aplicación a la industria.

Las microfotografías que ilustran el trabajo se deben en su mayoría a la amabilidad de M. A. Duparque, con quien el autor ha estudiado durante dos años, colaborando en la confección de preparaciones y en la obtención de las fotografías. Las figuras 6, 21, 32 y 33 fueron obtenidas en los laboratorios del Instituto Nacional del Carbón.

METODOS DE ESTUDIO MICROSCOPICO DEL CARBON

El estudio microscópico del carbón se realiza principalmente según dos técnicas

* Licenciado en Ciencias Químicas. Del Departamento de Química del Instituto Nacional del Carbón.

diferentes: El método de secciones o láminas delgadas observadas por transparencia empleando un microscopio biológico ordinario, o bien uno petrográfico si se ha de emplear la luz polarizada, y el método de superficies pulidas (con o sin ataque) observadas por reflexión mediante un microscopio metalográfico.

Ambos tipos de microscopios son bien conocidos y no se describirán aquí. Se dirá tan solo que algunas casas constructoras (Reichert, Leitz, Zeiss, etc.) lanzaron a la venta tipos especiales de objetivos y otros accesorios especialmente concebidos para el estudio del carbón, principalmente los objetivos de inmersión en aceite de pocos aumentos para la observación por reflexión (para obtener aumentos comprendidos entre 200 y 350). Estos objetivos fueron preconizados por Stach¹⁸ y son indispensables para algunos fines^{19, 20, 21}. Poseen la ventaja de aumentar el detalle y finura de la imagen en la observación con iluminación fuerte, apreciar los colores de reflexión interna y sobre todo aumentar el contraste, por lo cual se pueden apreciar mejor las variaciones de poder reflector. Sin embargo Duparque²² considera estos objetivos como una complicación innecesaria.

Las técnicas de observación por transparencia exigen la preparación de láminas de carbón de un espesor considerablemente reducido, a causa de su gran opacidad, la cual además aumenta al disminuir la cantidad de materias volátiles, por lo que el método sólo es aplicable a los carbones bituminosos. Las hullas magras y antracitosas se resisten a tales técnicas, permaneciendo siempre opacas

Debido a esto y a la fragilidad de esta roca, la preparación de tales láminas delgadas es un asunto muy delicado, difícil y lento, que solo se puede aplicar en algunos casos particulares. Generalmente su empleo es imposible cuando se trata de estudios en serie. No obstante es el único método empleado en N. América, mientras que en la

Europa continental predominan las técnicas de superficies pulidas. Inglaterra posee por igual petrógrafos eminentes partidarios de ambos métodos.

Los primeros estudios microscópicos del carbón se realizaron por transparencia, utilizando la técnica corrientemente empleada en las rocas duras y compactas, que sólo se pudo aplicar a ciertos carbones especiales (cannel-coals, bogheads y algunos durenos).

Solamente la creación de técnicas nuevas hizo posible el estudio por transparencia de las hullas. Thiessen^{23, 24} en América y Lomax²⁵ en Inglaterra, fueron los instauradores de los métodos apropiados para conseguir tales láminas delgadas.

Para el estudio completo de las capas de carbón es muy conveniente, si no necesario, la toma de columnas-muestra, es decir, columnas de carbón que atraviesan la capa de arriba abajo. Estas columnas son difíciles de extraer y exigen muchas precauciones, especialmente en los casos de carbones frágiles como son los asturianos. No obstante no es imprescindible obtenerlas en un solo bloque; en el caso general de su rotura en varios trozos, cada uno de éstos debe numerarse, anotando su situación y orientación en la capa. Junto con la columna se debe extraer, según el Bur. of Mines²⁴, una muestra para el análisis químico y estudios de coquización.

Thiessen^{23, 24} prepara simultáneamente bloques relativamente grandes para la observación macroscópica por reflexión, y láminas delgadas para el estudio microscópico por transparencia. Cada bloque representa una porción vertical de la columna original y las láminas delgadas están cortadas adyacentes al bloque para poder correlacionar ambas observaciones.

Primeramente impregna el bloque con parafina para darle solidez, y corta una rebanada perpendicularmente al plano de estratificación, que ha de servir para la preparación de las láminas. Los bloques se pulen desgastándolos primero sobre vidrios pla-

nos con abrasivos cada vez más finos y puliéndolos después sobre un paño con cal apagada.

Hay que tener en cuenta que este pulido es muy grosero y no permite la observación microscópica; parece ser que Thiessen nunca ha publicado ninguna microfotografía de superficies pulidas; consideraba este método como muy insuficiente; sin embargo, su aplicación general es más extensa y, cuando se emplea con los debidos requisitos, da resultados excelentes.

Las rebanadas separadas para la confección de las láminas se tratan de nuevo con parafina y se sierran en bloques pequeños de una pulgada de altura, de modo que se obtiene una serie de cubos o prismas que representa todo el espesor de la capa de carbón. Cada uno de estos fragmentos se numera y se marca su posición en el bloque pulido correspondiente. Así pueden cotejarse las estructuras microscópicas observadas en las láminas, con los componentes macroscópicos que se ven en las superficies pulidas.

Los pequeños bloques de una pulgada deben tratarse de nuevo con parafina durante 24 horas, para eliminar en lo posible los gases ocluidos que causan grandes inconvenientes durante el cementado sobre el portaobjetos. Esta es la operación más delicada y de la cual depende el éxito o el fracaso.

Antes de pegar el bloque, se prepara una superficie bien plana por desgaste sobre abrasivos finos y finalmente sobre una piedra de afilar muy fina (piedra de aceite amarilla belga) y se pule después ligeramente sobre un paño, como los bloques grandes para observación macroscópica.

Como cemento de unión al portaobjetos Thiessen emplea una mezcla de 3 p. de bálsamo del Canadá y 1 p. de una cola refinada hecha a base de caucho, aceite de hulla y goma laca (marine glue). En la estufa se funde una pequeña cantidad de cemento sobre el portaobjetos; se calienta entonces la superficie pulida del carbón con un mechero

y se aplica rápidamente sobre el cemento; se hace presión para expulsar el exceso juntamente con las burbujas de aire, se saca y se deja enfriar comprimiéndola.

Después que se endureció bien el cemento, se desgasta el bloque sobre discos de piedra esmeril de corona circular plana hasta obtener el menor espesor posible y entonces se continúa sobre la piedra de aceite fina. Durante el desgaste debe regularse la presión para que el espesor se mantenga uniforme, lo cual es muy difícil de conseguir dada la diferente dureza y elasticidad de los diversos componentes del carbón. Poco a poco aparecen algunas partes transparentes; desde entonces se debe trabajar con gran cuidado porque es muy fácil que en un instante se estropee todo el trabajo. Cuando se obtiene una lámina uniformemente transparente se da la operación por acabada; solo queda pulirla con un corcho reblandecido y húmedo, con un polvo de pulir, frotando sobre ella suavemente. Finalmente se limpia y se protege con un cubreobjetos, que se puede pegar con glicerina, aceite de cedro o un cemento especial. El bálsamo no es recomendable porque el xilol que contiene disuelve y reblandece el cemento empleado para pegar la sección transparente y ésta se estropea. Puede emplearse un cemento hecho con 4 p. de goma arábica, 4 p. de glicerina y 2 p. de agua destilada²⁶. Según Thiessen²⁴ una capa de 5 pies exige unas 75 láminas transparentes y unas 2 semanas de trabajo.

La técnica de Lomax²⁵ difiere la de Thiessen en varios puntos: Para eliminar los gases ocluidos recomienda calentar el carbón varias horas a una temperatura un poco mayor que la necesaria en las operaciones ulteriores y verificar éstas calentando lo menos posible, todo lo cual no excluye la necesidad de impregnar la muestra; pero no emplea parafina para ello, sino que sumerge el bloque en una solución de goma laca decolorada en alcohol metílico. Luego se prepara una cara plana frotando sobre placa de vidrio con polvo de carborundo y agua,

y después se seca y vuelve a sumergirse en la goma laca, pues la impregnación es solo superficial. Se desgasta de nuevo ligeramente la superficie y se pule. Como cemento de unión, Lomax emplea una mezcla de 3 partes de bálsamo del Canadá y una parte de goma Copal seleccionada. La cantidad de esta goma puede aumentarse o disminuirse para hacer variar la dureza del cemento en el mismo sentido. El portaobjetos se calienta sobre una chapa plana de fundición, mediante un mechero colocado en un extremo; la temperatura del portaobjetos se regula desplazándolo sobre la placa.

El bloque pegado se desgasta sucesivamente sobre varios discos giratorios de fundición alimentados con polvo de carborundo de finura cada vez mayor y agua, y luego con el carborundo más fino sobre placa de vidrio hasta que comienzan a verse partes transparentes, lavando bien con agua antes de cada paso a un abrasivo más fino para eliminar el grosero. De esta manera no puede llegarse al final y quedan muchas partes opacas que deben adelgazarse independientemente. Para ello se monta la preparación sobre un vidrio deslustrado iluminado por debajo para observar la muestra por transparencia y se desgastan las zonas gruesas frotándolas con útiles especiales, fabricados tallando en forma apropiada piedras finas de afilar (de aceite). Si se considera el espesor reducidísimo que tiene entonces la lámina de carbón (del orden de 10μ) puede apreciarse fácilmente la dificultad de la operación. Solamente Lomax con su habilidad extraordinaria consiguió obtener de esta manera, láminas transparentes de grandes dimensiones. El tamaño ordinario de las secciones delgadas no pasa de los 2 ó 3 centímetros de lado.

Otros autores han introducido algunas modificaciones complementarias en estos métodos, conservando siempre la marcha general. Por ejemplo Evans²⁷ emplea una mezcla de bálsamo del Canadá y goma laca para impregnar el fuseno; Boddy²⁸ utiliza una solución 1:1 de baquelita en acetona

para impregnar los bloques de carbón (Thiesen utilizó también la baquelita alguna vez).

Jeffrey²⁹ ideó un método completamente diferente al petrográfico para obtener láminas transparentes. Sometió fragmentos de carbón a la acción de soluciones alcohólicas saturadas de sosa o potasa a 60 ó 70 grados durante una semana o más tiempo. Después eliminó el reactivo lavando con alcohol caliente y trató con FH para eliminar las sustancias inorgánicas. Así el carbón toma la consistencia del queso de Holanda y se puede impregnar en una gelatina apropiada para cortarlo con un microtomo igual que las preparaciones histológicas. De esta manera Jeffrey obtuvo microfotografías excelentes; pero el método es muy laborioso y exige más tiempo que ninguno; sobre todo con los carbones magros y antracitas que pueden necesitar muchas semanas de tratamiento. Por otra parte no se puede estudiar la materia mineral, y además el carbón, sometido a tratamientos tan enérgicos, puede alterarse.

Todavía hay otros métodos que permiten el estudio del carbón por transparencia, tales como los métodos microquímicos que consisten en tratar las láminas delgadas con reactivos colorantes selectivos, (aplicados tan solo a las turbas y algunos lignitos); la separación de esporas, cutículas y otros corpúsculos resistentes por medio de maceraciones; la obtención de esqueletos de cenizas o espodogramas mediante incineración, para el estudio de la distribución de cenizas en las capas, etc. Pero la aplicación de estas técnicas, que permiten también la observación por reflexión, se limita solo al estudio de determinados componentes y no da idea de la estructura completa de la hulla. Además solo la separación de esporas ha demostrado ser de utilidad amplia (correlación de capas). Así pues no se insistirá por ahora sobre ellas.

Las técnicas de observación por reflexión se basan en los métodos empleados ya anteriormente en metalografía. También en este caso, al tratar de aplicar a la hulla métodos

conocidos, se tropezó con dificultades grandes. Primeramente se dedicó poca atención al pulido de la muestra, que se realizaba como en los métodos metalográficos ordinarios llegando a obtener superficies pulidas, pero que no mostraban estructuras claras. Estas superficies se atacaban generalmente por oxidantes enérgicos y a veces por disolventes para hacer aparecer la estructura, de este modo las partes más resistentes de la hulla permanecen inalteradas en relieve.

Winter³⁰ fué quizá el primero que aplicó la técnica metalográfica al carbón. Empleó como medio de ataque el licor de Schulze (solución saturada de clorato potásico en ácido nítrico concentrado) frecuentemente en caliente. Wahl y Bagard³¹ atacaron las superficies pulidas del carbón con piridina calentando en baño maría. Este disolvente solo actúa apreciablemente sobre hullas ricas en materias volátiles.

También Seyler empleó al principio³² el licor de Schulze y publicó buenas microfotografías, pero abandonó enseguida este reactivo, que consideró demasiado enérgico, para emplear en su lugar la mezcla de ácidos crómico y sulfúrico hirviendo³³. El ataque varía desde menos de un minuto para los carbones bituminosos hasta unos cinco minutos para las antracitas. Después de atacada y lavada la muestra, se repule ligeramente. Por este método Seyler pudo estudiar la estructura de algunas antracitas que hasta entonces se habían resistido a la observación microscópica.

Williams³⁴ empleó como medio de ataque el oxiclورو de selenio, mientras Iwasaki³⁵ recomendó la tetralina, que tiene la ventaja de no ser oxidante, como agente de ataque especialmente apto para carbones terciarios.

Por otra parte, Turner y Randall³⁶ idearon un método de ataque sin emplear reactivos químicos. Su técnica consiste en calentar al rojo la superficie pulida mediante la llama oxidante del soplete después de haber calentado el carbón previamente a 200 ó 300° para evitar fracturas o desprendi-

miento de esquirlas. De esta manera las capas mates se atacan más rápidamente que las brillantes y se cubren de un velo imperceptible de cenizas.

En general, los métodos de ataque que se aplican a las superficies pulidas para hacer resaltar algunas estructuras enmascaradas del carbón, tienen el inconveniente de que destruyen otras porciones de esas estructuras, a veces muy importantes; esta destrucción va acompañada de un despulido que suprime una de las condiciones esenciales para la observación en luz reflejada, que exige ante todo la existencia de buenas superficies reflectoras³⁷. Por esta razón, a pesar de su diversidad, ningún método resultaba satisfactorio, lo cual llevó a ciertos investigadores a prescindir de todo ataque y a esmerarse en el método de pulido.

Duparque (1925)³⁸ fué el iniciador de la técnica de pulido sin ataque, aunque Stach (1927)³⁹ desarrolló otra muy semejante independientemente y casi a la vez.

Siempre que sea posible, Duparque escoge los bloques de hulla resultantes de las fracturas naturales y prepara las superficies que estén orientadas convenientemente perpendiculares o paralelas al plano de estratificación y que dan lugar respectivamente a las llamadas secciones *verticales* y *horizontales*. Cuando esto es imposible, se cortan los bloques con una sierra de metales muy fina.

Generalmente las superficies obtenidas son de 7-10 cm \times 6-8 cm, rara vez miden menos de 4 \times 6 cm. Estas preparaciones tan grandes tienen la ventaja de que permiten multiplicar las observaciones y de que el espesor de una vena puede representarse con pocas muestras, y por lo tanto, a pesar de que su preparación es más larga, exigen menos tiempo, permitiendo además estudios macro y microscópicos sobre la misma pieza.

Después de cortado el bloque, cada cara a estudiar se desbasta primero groseramente, si es muy irregular, con una muela de afilar de grano grueso, y después se frota, para obtener una superficie bien plana, sobre una placa de vidrio, empleando como

abrasivo una papilla acuosa de polvo de esmeril muy fino (procedente de una suspensión en agua de 20 minutos). Esta papilla se renueva frecuentemente para conseguir un desgaste enérgico. Una vez que la superficie está perfectamente plana y desprovista de toda rayadura, se pasa a otra placa de vidrio donde se continúa la operación, esta vez sin renovar el abrasivo, añadiendo de vez en cuando agua solamente. Esta fase es muy importante: en ella el abrasivo se enriquece paulatinamente en el polvo del mismo carbón hasta que éste domina sobre el esmeril y la muestra resulta desgastada por su misma sustancia, desgaste que selecciona según su dureza, todos los residuos organizados que conservaron su individualidad propia en la roca y los pone en evidencia⁴⁰. La superficie así preparada debe estar exenta de toda traza de estrías o de pulido y debe tener un aspecto uniformemente mate; la estratificación de la roca se manifiesta generalmente muy bien y se pueden distinguir ya los caracteres generales del combustible pues los detalles de la estructura se encuentran en cierto modo esculpidos muy superficial y ligeramente⁴¹. Una vez obtenida la superficie plana, se lava la muestra cuidadosamente para evitar que ningún vestigio de esmeril pueda producir rayas durante el pulido.

Las operaciones de desgaste deben hacerse a mano frotando la muestra sobre la placa de vidrio con movimiento circular y haciéndola girar sobre sí misma a intervalos regulares, para evitar la producción de estrías, cruzándolas y eliminándolas mutuamente. Además hay que procurar conservar plana la placa de vidrio pasando las muestras regularmente por toda su superficie para evitar que haya unas zonas más gastadas que otras.

Duparque no recomienda el empleo de series de abrasivos de finura diferente porque los más gruesos producen rayaduras profundas que son muy difíciles de eliminar. Los discos metálicos alimentados con esmeril conducen al mismo defecto y además gas-

tan mucho abrasivo. Los papeles de esmeril por otra parte pueden dar lugar a la formación de un *pulido especular* que enmascara la estructura real del carbón dándole una apariencia amorfa⁴².

Sin embargo el empleo de discos de fundición regados con polvo de esmeril grueso y agua dan resultados muy buenos para desbastar rápidamente las superficies muy irregulares y así se evita el polvo que se produce con la muela. Después, una vez que se haya lavado bien, puede pasarse al desgaste con esmeril de 20 minutos sobre placa de vidrio sin inconveniente ninguno.

La superficie plana de carbón en donde se manifiestan en ligerísimo relieve los detalles generales de su estructura, es completamente mate e impropia para el examen por reflexión. Duparque consigue una superficie reflectora empleando una pulidora con discos guarnecidos de cuero, alimentados con una suspensión acuosa de alúmina. Dado que las condiciones de pulido varían constantemente de una muestra a otra, es preciso poder modificar a voluntad la naturaleza del contacto entre la superficie a pulir y el disco de cuero, lo que se logra variando la velocidad de rotación de éste, la cantidad de alúmina empleada y la presión aplicada a la muestra de carbón, que debe mantenerse siempre a mano⁴³.

Se utiliza la alúmina corrientemente usada en metalografía, en general bastan las suspensiones de tres horas.

El pulido es delicado y exige un control microscópico constante. Hay que evitar siempre el depósito sobre la superficie pulida de sustancias extrañas que enmascaran la estructura auténtica, cosa que es frecuente si no se opera con cuidado. La alúmina y el polvo mismo del carbón pueden adherirse fuertemente entre los detalles del relieve y a veces no se pueden eliminar más que volviendo a desgastar con el esmeril. Esto sucede sobre todo si los discos no están suficientemente regados.

Otro defecto que es preciso evitar es la exageración del relieve, que tiende a pro-

ducirse cuando se opera a poca velocidad o comprimiendo demasiado la muestra contra el disco.

La preparación de una superficie pulida por este método puede llevarse a cabo en 15 ó 20 minutos si se trata de muestras pequeñas, con las grandes se tarda 30 minutos o una hora, lo cual es poco tiempo teniendo en cuenta la superficie que pueden alcanzar tales muestras.

Casi a la vez que Duparque, Stach ³⁹ creó una técnica de pulido simple muy análoga y Seyler también se hizo partidario de este método abandonando el ataque de las superficies pulidas. Ambos autores emplean como soportes del agente de pulir, paño de billar, cuyo uso se generalizó más que el del cuero. Este paño puede usarse sobre discos o bien fijo sobre una tabla plana de madera sobre la que se frota la muestra con movimientos enérgicos de vaivén, en este caso la operación es mucho más larga, fatigosa y además muchas veces tiende a exagerar el relieve. Con uno u otro método se pueden obtener resultados igualmente excelentes, como lo demuestran las obras de estos autores.

Actualmente el método de pulido sencillo sin ataque es el que más auge tiene en Europa y el que proporciona más servicios a la técnica, sobre todo gracias a los últimos perfeccionamientos del microscopio de luz reflejada y a los métodos de análisis recientemente desarrollados.

LA ESTRUCTURA DEL CARBON

El carbón es, como definieron muy gráficamente Stopes y Wheeler ⁶ una masa compacta estratificada de plantas *momificadas* que han sufrido en diverso grado una descomposición parcial y forman un auténtico *conglomerado de origen vegetal*. Estas plantas se encuentran siempre muy fragmentadas, hasta tal punto que Duparque califica a la hullas de *polvos vegetales fósiles*, lo que es particularmente cierto en los durenos. No obstante, la mayoría de las hullas poseen un porcentaje

más o menos elevado de fragmentos vegetales cuyo tamaño es de varios centímetros de longitud, pero cuyo espesor sigue siendo reducido (generalmente menor de 0,5 cm. y raramente mayor de 1 cm.)

Todos los fragmentos vegetales (*cuerpos figurados*) grandes y pequeños se presentan aplastados y dispuestos paralelamente a la superficie en que se extiende la capa de carbón, dando a ésta una estratificación que se manifiesta siempre claramente al microscopio. En los casos en que las capas sufrieron trastornos tectónicos que las deformaron, fallaron o comprimieron, se acusan éstos en su estratificación por una microtectónica que es una reproducción exacta, a una escala pequeñísima, de los grandes fenómenos geológicos observables en la corteza terrestre. Esto se debe a que la estratificación de las capas de hulla es la más fina que se conoce en cualquier roca sedimentaria ⁴⁴.

En los bloques de hulla, tal como se extraen de la mina, es frecuentemente muy difícil y a veces imposible ver la estratificación propia del carbón debido a que queda enmascarada completamente por planos de exfoliación y por superficies de fractura de brillo diverso y tipo muy variado: lisas, concoidales, oceladas (ojo de pájaro), fibrosas, fusiformes, cónicas, etc., que se presentan en todas las clases de carbón, especialmente en las más compactas, sean bituminosas o magras. Todas ellas se deben a tensiones internas y se manifiestan en el momento de la rotura; no alteran sensiblemente la estructura microscópica, pero a veces simulan a primera vista estructuras vegetales leñosas ⁴⁵.

En los yacimientos cuyas capas no sufrieron distorsiones grandes, el carbón se rompe ordinariamente en bloques paralelepípedicos rectangulares, que se forman por la presencia de redes de diaclasas perpendiculares entre sí y al plano de estratificación. Pero este caso es poco frecuente; de ordinario aparecen además superficies oblicuas de exfoliación, provocadas por las presiones sufridas, que dominan en la cuenca asturia-

na y hacen que el carbón sea más frágil y rompa en fragmentos muy irregulares.

Los residuos organizados

Los residuos organizados que aparecen en las hullas están en relación con los vegetales de que proceden. Sabido es que la flora hullera estaba formada principalmente por criptógamas vasculares, pteridospermas y cordaítes y que en ella predominaron las licopodiáceas arborescentes. Casi todas estas plantas tuvieron un follaje extraordinariamente rico y produjeron, a lo largo de su vida, cantidades fabulosas de esporas o granos de polen; esto explica la presencia casi constante de esporas y cutículas en los carbones bituminosos, algunos de los cuales están formados casi exclusivamente por acumulaciones de estos organismos.

Las esporas estaban protegidas contra los agentes destructores por una membrana, cuya capa exterior o exina estaba cutinizada y tenía un espesor a veces relativamente considerable. Esta exina más resistente es lo único que se conserva en el carbón; las demás partes, en general, perdieron su identidad. Muchas criptógamas hulleras eran heterosporáceas y producían macrosporas o megasporas (que engendraban protalos hembras) y microsporas (productoras de protalos machos). Las esporas de las isosporáceas y los granos de polen de las pteridospermas y cordaítes presentan en el carbón las mismas características de las microsporas, con las que se confunden.

Las macrosporas se originaban en los macrosporangios unidas generalmente en tétradas o grupos de cuatro, por lo que adquieren una forma subtetraédrica, con tres caras planas (comunes con las otras esporas de la tétrada) y la cara externa esférica. Durante la formación de la hulla, las esporas resultaron aplastadas, por lo que perdieron su forma primitiva para quedar reducidas a discos en los que pueden apreciarse las marcas de la tétrada en forma de tres crestas o aristas concurrentes en el centro del disco.

Tal es el origen del género *Triletes*, tan común en todos los yacimientos hulleros.

En las preparaciones microscópicas de carbón las macrosporas quedan seccionadas por un plano, y es esta sección la que se observa. Si el plano es perpendicular al de estratificación (secciones verticales), las macrosporas aparecen como sacos aplastados, con su cavidad más o menos reducida, muchas veces con las paredes pegadas una a otra. Frecuentemente se ven plegadas de formas diversas, otras veces muestran apéndices y ornamentos en las paredes, residuos del velo o ramentum que algunas poseen, y también las marcas de las tétradas que son muy características.

Las macrosporas (igual que los demás cuerpos figurados) muestran en las láminas transparentes y en las secciones pulidas, los mismos contornos, pero aspectos opuestos. La sustancia que forma las exinas de las esporas es relativamente transparente por lo cual éstas se ven muy luminosas de color amarillo dorado a naranja, según el espesor de la lámina. Por el contrario, en las superficies pulidas, se ven grises y más oscuras que el resto del carbón, en virtud de su menor reflectividad.

El aspecto de las macrosporas en secciones verticales pulidas se aprecia bien en las figuras 3 y 4. Las figuras 7 y 8 muestran secciones transparentes. Frecuentemente, las macrosporas que no están completamente aplastadas se ven rellenas de microsporas (fig. 3 y 7). En sección horizontal, las macrosporas se ven como discos más o menos incompletos y deformados, según la posición del corte respecto a la espora y según los plegamientos que ésta posea (fig. 11, 12, 13). En las 12 y 13 se aprecian bien las marcas de las tétradas.

Las microsporas presentan las mismas características que las macrosporas, en una escala más reducida. En las fotografías citadas se ven numerosísimos ejemplos, y más aumentadas, en las figuras 14 y 15. Las microsporas nacen en microsporangios donde aparecen reunidas en grandes cantidades;

éstos a veces pueden identificarse en el carbón.

El diámetro de las macrosporas es, por lo general, mayor de 0,7 mm y muy próximo a 1 mm; hay algunas especies notablemente mayores que llegan hasta los 3 ó 4 mm. Las microsporas oscilan entre las 20 y 70 micras y las hay aun más pequeñas. En algunos casos se encuentran esporas de tallas intermedias entre los dos tipos, aunque son raras.

El espesor de las paredes de las esporas es muy variable, así que el aspecto de éstas puede cambiar mucho. En la fig. 1 se ven algunas macrosporas de la Camocha que difieren bastante de las demás representadas. Este yacimiento tiene esporas que parecen características, de paredes muy delgadas y gran diámetro. Se ha encontrado un ejemplar extraordinario de 3 mm de diámetro y 10 micras de espesor de pared, rodeado de un velo más grueso que le da un diámetro total de más de 4 mm.⁴⁶

En virtud de la diversidad de aspectos que presentan las exinas en sección vertical, algunos autores ingleses y americanos⁴⁷ han aplicado el estudio de las esporas, en secciones transparentes y en superficies pulidas, a la correlación de capas de carbón y han obtenido muchos éxitos; pero también en otras ocasiones los resultados fueron negativos, aún empleando los métodos de maceración, porque las condiciones de depósito en los distintos puntos de la capa de carbón pueden variar a veces rápidamente. En todo caso, el método de estudio, aunque laborioso, es siempre muy interesante.

Otros cuerpos figurados que poseen características parecidas a las de las esporas son las cutículas, es decir las cubiertas cutinizadas que protegen las hojas, ramas y tallos jóvenes. Estas membranas moldean las células de la epidermis y presentan generalmente una superficie externa lisa o suavemente ondulada y otra interna rugosa, que en corte aparece dentada. En las secciones verticales las cutículas aparecen con el aspecto de bandas largas, más o menos estrechas, con uno de los bordes provisto de

dientes que, en la mayoría de los casos, solo son perceptibles con aumentos fuertes o están aplastados o deteriorados. No obstante las cutículas se reconocen siempre fácilmente porque son, como las esporas, más transparentes y menos reflectoras que el resto del carbón (grises en superficie pulida y doradas o anaranjadas por transparencia). Las cutículas se encuentran frecuentemente asociadas por pares, que pertenecieron a la misma hoja y se unen en punta por un extremo. Los bordes cortantes son un carácter distintivo de las cutículas, que podrían confundirse algunas veces con las macrosporas cuyos bordes son siempre redondeados.

Las figuras 16 a 18 presentan algunos ejemplos de cutículas.

Dada la gran extensión y superficie de las hojas, sus cutículas pueden plegarse de maneras inverosímiles por lo que el aspecto de sus secciones varía prodigiosamente tanto en las verticales como en las horizontales u oblicuas.

Frecuentemente, las cutículas se conservan rodeando los tejidos internos primordiales de las hojas o de los órganos jóvenes a quienes protegían, que están transformados generalmente en una pasta homogénea sin estructura visible al microscopio, o con vestigios de la estructura celular original visible especialmente en las láminas transparentes (fig. 17). Aun cuando el contenido de las hojas es amorfo, se observan frecuentemente trazas de las nerviaciones.

Como se ha dicho, la cutina que forma tanto las exinas como las cutículas de hojas aparece al microscopio como una sustancia homogénea, con relieve acusado (producido como consecuencia de su elasticidad), menos reflectora y más transparente que el resto del carbón. A veces sufrió alteraciones y se presenta como granulosa: tal es el caso por ejemplo de la espора de la fig. 13; otras veces las cutículas presentan trazas de estructura reticular (fig. 17).

La materia derivada de la cutina, que forma las exinas y las cutículas del carbón recibe actualmente el nombre genérico de

exinita, y puede llamársele *esporinita* o *cutinita* según se derive de esporas o cutículas respectivamente.

En algunos carbones especiales (cannel-coals, bogheads), aparecen junto con las microsporas o independientemente, pequeños organismos semejantes a ellas de forma característica, que se derivan de ciertas especies de algas gelósicas, según demostraron Bertrand y Renault⁴⁸ y sobre las que no se insistirá de momento.

Se designan como resinas a ciertos cuerpos presentes en los carbones, de contornos irregulares u ovalados de estructura homogénea, más o menos transparentes en lámina delgada, de color que varía del amarillo-naranja al pardo, y que en superficie pulida son más o menos grises y muchas veces fuertemente refringentes, lo que da sensación de relieve muy acusado. Una característica de los cuerpos resinosos es su forma globosa, que contrasta frecuentemente con el aplastamiento de los residuos vegetales que los rodean, e indica una gran resistencia a la compresión.

Las resinas del carbón derivan de contenidos celulares fosilizados y es muy probable que algunas no tengan un origen resinoso propiamente dicho, sino que se deriven de otras sustancias vegetales⁴⁹. No obstante, la materia actual de que están formadas recibe el nombre de *resinita*. Se presentan, bien aisladas entre otros residuos vegetales de naturaleza distinta, o bien agrupadas, o incluidas en tejidos celulares de estructura mejor o peor conservada. Así como las esporas y cutículas pueden formar una parte considerable de ciertas capas de carbón, los cuerpos resinosos nunca se presentan en cantidades importantes. Las figs. 19 a 22 muestran algunos ejemplos de resinas en el carbón.

Los tejidos lignificados (madera) forman la parte más importante en peso de los vegetales y, como consecuencia, aparecen también en el carbón desempeñando un papel primordial. Proceden siempre de tejidos primitivamente celulósicos (es decir constituidos de celulosa y pectosa) cuyas paredes

se espesaron e impregnaron de lignina.

Los tejidos lignificados se clasifican en dos categorías: el esclerénquima, tejido de protección o de sostén, del que hay dos variedades: el esclerénquima propiamente dicho que forma las cubiertas protectoras de ciertos granos y es bastante raro en la hulla y el tejido fibroso (fibras esclerificadas), que estaba bien desarrollado en la zona cortical de ciertas plantas hulleras y al que deben atribuirse muchos tejidos lignificados presentes en el carbón⁵⁰. La otra categoría la forma la madera propiamente dicha, cuyos vasos incompletamente lignificados presentan ornamentos característicos.

El estudio de los tejidos leñosos de los vegetales exige el examen de tres cortes orientados convenientemente (transversal, longitudinal y tangencial) que son casi imposibles de realizar en la hulla, dada la gran fragmentación y diversidad de orientación que presentan estos tejidos en el carbón. No obstante, algunos investigadores han estudiado concienzudamente las estructuras de ciertos troncos fósiles y han identificado después otras análogas en el carbón⁵¹. De todos modos, esta diferenciación de los tejidos leñosos, interesante en paleobotánica, no tiene más que un interés secundario en la petrografía y en el estudio técnico de los carbones.

Por el contrario, hay un factor mucho más interesante que debe hacerse intervenir en la clasificación de los tejidos leñosos, es el *estado de fosilización*⁵². En general, todos los residuos vegetales que se ven actualmente en el carbón, sufrieron vicisitudes variadas de tal modo que fueron transformados física, química y biológicamente en grado diverso antes de quedar enterrados y formar la capa de hulla. Siendo la cutina muy resistente a los agentes atacantes, los cambios que ella sufrió debieron ser poco importantes; por el contrario, los tejidos leñosos, más delicados, especialmente los de las plantas hulleras que estaban poco lignificados, estuvieron expuestos a transformaciones mucho más profundas. De modo que

en un mismo punto pudieron reunirse fragmentos de tejidos celulares originalmente análogos que, en virtud de las diferentes modificaciones sufridas, presentaban características muy distintas. Estas diferencias llevadas al extremo son las que dieron lugar a los dos componentes microscópicos más opuestos de los carbones: la *fusinita* y la *vitritina*.

En los tejidos convertidos en *fusinita* las paredes celulares son opacas por lo que, en secciones transparentes, no se puede observar bien la estructura más que en algunos cortes transversales (fig. 23).

Las cavidades de las células pueden estar vacías o bien rellenas de resinita transparente o de minerales cristalizados más transparentes aún (fig. 23). En superficie pulida, por el contrario, la estructura se destaca claramente; las paredes celulares son brillantes y, a causa de su dureza, presentan un relieve muy marcado. La resinita o los minerales de relleno contrastan por sus tonos más oscuros (fig. 27). Pero es difícil encontrar estructuras celulares intactas; la mayoría de las veces, las paredes de las células aparecen rotas y más o menos comprimidas dando lugar muchas veces a las llamadas *estructuras estrelladas* o «*bogenstruktur*»^{33, 53}; el aspecto celular puede quedar muy desfigurado pero se conservan las características de opacidad, brillo y dureza. (figs. 24 a 26).

Cuando las cavidades celulares se hallan vacías, los fragmentos leñosos de alguna dimensión resultan muy porosos y por la misma dureza de sus paredes son muy frágiles pulverizándose muy fácilmente. En estas condiciones son muy difíciles de pulir y más aún de preparar en secciones transparentes. En la fig. 24 se ve un tejido leñoso con numerosos huecos, sin duda provocados durante las operaciones de pulido. Esto puede evitarse, al menos en parte, impregnando los carbones frágiles con cera carnauba, solución de goma laca, etc., métodos que sin embargo tienen sus inconvenientes.

Otras veces, por el contrario, cuando las cavidades celulares están llenas de materia

mineral, el fuseno adquiere gran compacidad y dureza, sin que por ello se preste fácilmente al pulido a causa de los mismos minerales (fig. 28).

La *fusinita* nunca forma un porcentaje elevado en la masa del carbón. La mayoría de los tejidos leñosos presenta un relieve menos marcado y un tinte menos brillante en superficie pulida, a la vez que no son opacos, sino más o menos translúcidos y de un color rojizo o pardo por transparencia. Las estructuras celulares pueden conservarse intactas o deterioradas, pero se manifiestan mejor en las láminas delgadas.

Cuando este fenómeno se acusa, la estructura celular llega a borrarse y desaparecer por completo en las superficies pulidas observadas con objetivos en seco; entonces los fragmentos leñosos aparecen como lentes o bandas grises, más oscuras, aparentemente amorfas y blandas, por lo que los demás residuos vegetales resaltan en relieve en sus contornos. Los tejidos leñosos así transformados en una sustancia amorfa presentan el mismo aspecto exactamente que el contenido de las hojas y que las bandas o filetes originados por precipitación de soluciones coloidales y que en realidad están desprovistos de estructura vegetal. La materia de que están formadas todas estas lentes y bandas se denomina en general *vitritina*.

La *vitritina* procedente de los fragmentos leñosos que no se desintegraron por completo, o de los contenidos de las hojas, presenta en láminas delgadas muchas veces hermosas estructuras celulares finamente dibujadas o por lo menos vestigios. Su color es anaranjado de intensidad variable según el espesor de la preparación. Estas estructuras solo se pueden ver en las superficies pulidas cuando se emplean objetivos de inmersión, porque los dibujos no presentan relieve y solo se hacen discernibles en virtud de diferencias de transparencia (o reflectividad) muy débiles. La *vitritina* con estructura recibe el nombre de *telinita* y según proceda de tejidos leñosos propiamente dichos, de tejidos corticales o de tejidos suberosos

se llama *xilinita*, *periblinita* o *suberinita*, en el primer caso contiene frecuentemente inclusiones de resinita. La vitrinita realmente amorfa se designa como *ulminita* cuando se deriva de tejidos celulares (generalmente leñosos o corticales) que perdieron su estructura. La vitrinita que procede de la precipitación de sustancias úlmicas en solución se conoce como *colinita*. La distinción entre las diversas categorías de vitrinita no siempre es fácil lo que dió lugar a numerosas discusiones respecto a la importancia relativa de cada una de ellas. Técnicamente estas distinciones tienen un interés muy limitado. Se ven ejemplos de vitrinita en las figs. 5, 6 y 10.

La materia que compone los tejidos leñosos que presentan caracteres intermedios entre la fusinita y la vitrinita (menos relieve y brillo que la primera y menor transparencia que la segunda) se llama *semifusinita*. En una misma hulla, los distintos fragmentos de semifusinita pueden tener tintes diversos (más o menos claros) de modo que en las superficies pulidas se aprecia una serie de grises, desde la vitrinita (más oscuro) hasta la fusinita (blanca y brillante, con un ligero tinte amarillento). Véanse como ejemplo las figuras 27 y 29.

Los tejidos celulares transformados en fusinita y semifusinita pueden estar tan fragmentados que lleguen a separarse en células aisladas o en fragmentos de células que luego se dispersan en la masa del carbón. Estos fragmentos diminutos y otros completamente análogos forman la *micrinita*, componente que tiene las mismas propiedades que la semifusinita pero cuya característica esencial es la de estar finamente dividida.

Thiessen y Sprunk⁵⁴ atribuyeron el origen de la micrinita (granular opaque matter) a productos de degradación de los tejidos leñosos, más deteriorados que la bogenstruktur. Kellet, Stach y otros^{55, 56, 57} relacionaron la micrinita genéticamente con las microsporas y sugieren que una variedad más fina depende del contenido celular de éstas, mientras que otra variedad más com-

pacta procede de otros residuos vegetales y se depositó juntamente con las microsporas, con las cuales contribuyó a formar el durenó⁵⁸.

En las figuras 3 y 4 se percibe la micrinita como una pasta heterogénea brillante que cementa las microsporas. Por transparencia se ve como una masa opaca (figs. 7, y 8). En la fig. 9 se observan finas partículas negras de micrinita dispersas en la vitrinita transparente.

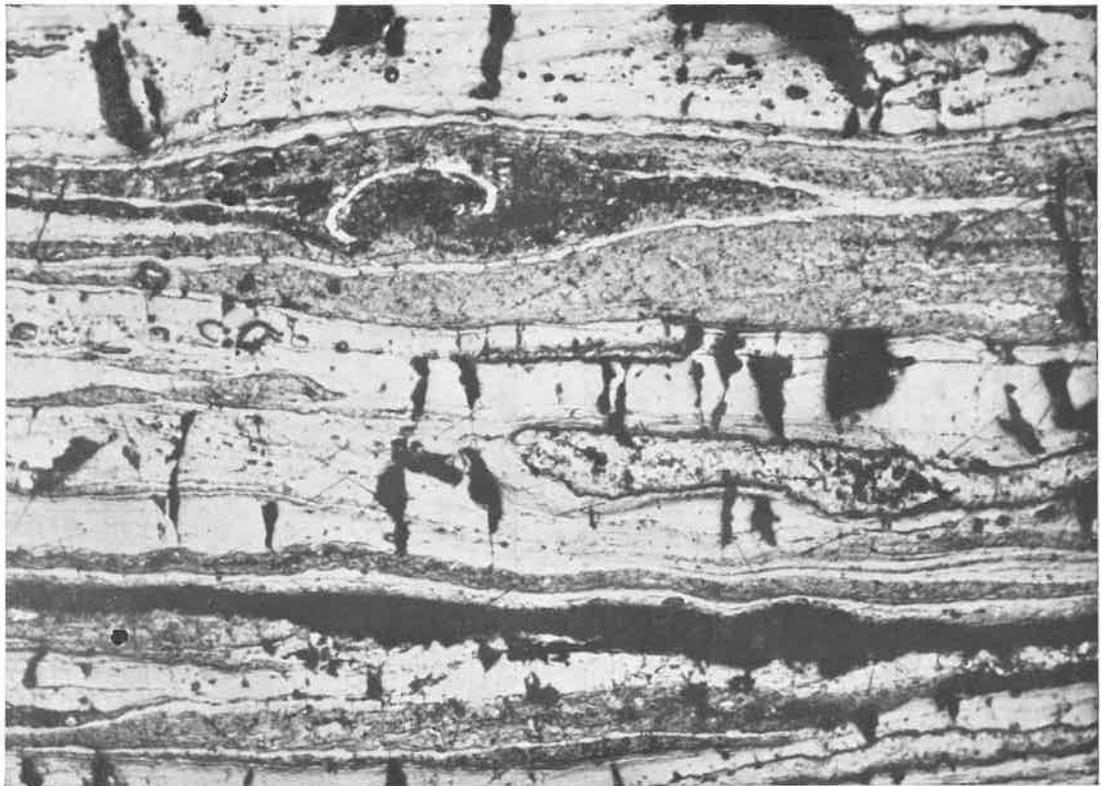
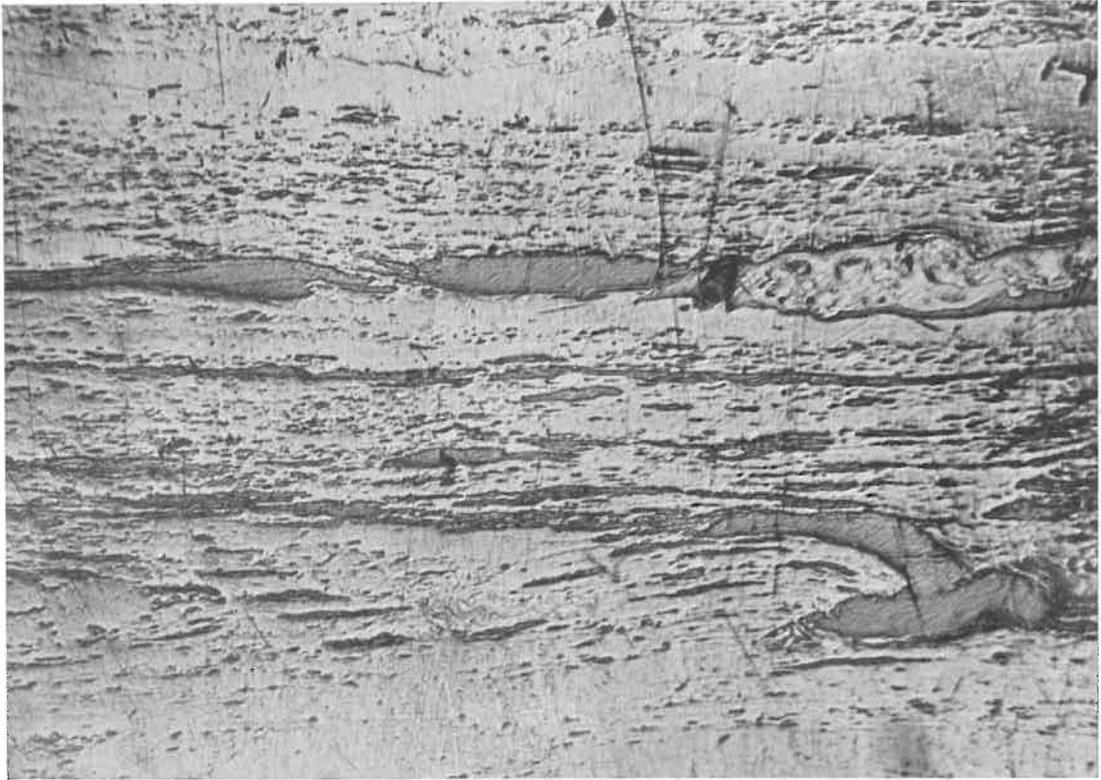
Con la fusinita y semifusinita se relacionan ciertos tejidos celulares de estructura irregular, y otros corpúsculos redondeados que se consideran como esclerocios de hongos. La materia que los forma o *esclerotinita*^{19, 58} es análoga ópticamente a la fusinita o a la semifusinita. Se presenta siempre en cantidades muy pequeñas.

Las materias minerales de las bullas

Las sustancias minerales que producen las cenizas de las hullas pueden tener un origen primario o secundario, según se hayan depositado a la vez que los residuos vegetales o lo hayan hecho después de formada la capa de carbón, en las grietas, diaclasas y zonas porosas de la misma.

Entre las primarias se encuentran los minerales contenidos en la materia orgánica de los vegetales hulleros, que son invisibles al microscopio; los minerales precipitados de soluciones acuosas durante la formación de la capa (cristales, granos, agregados o lechos de sustancias minerales puras, impregnaciones de fragmentos leñosos; cementos minerales concrecionados) que consisten principalmente en carbonatos romboédricos de hierro, calcio y magnesio, pirita y marcasita, y sustancias minerales de origen detrítico consistentes en acumulaciones de finas partículas de arcilla, granos de cuarzo, etc.

Las sustancias minerales de origen secundario resultan del relleno de las diaclasas, grietas de contracción y zonas fracturadas y porosas de las capas de carbón, por carbonatos romboédricos, piritas y sulfatos



Figs. 1 y 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9

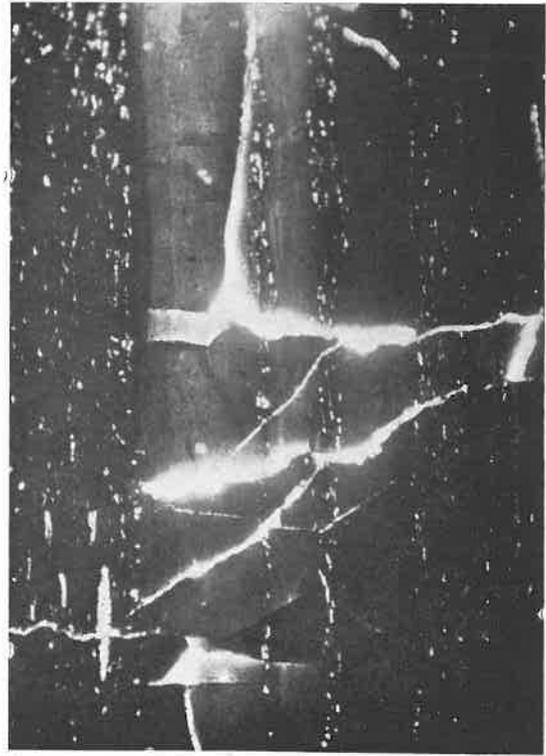
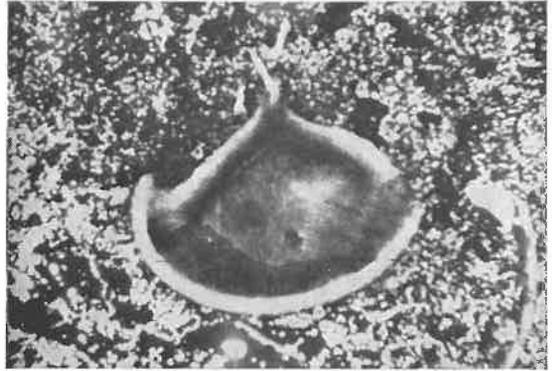
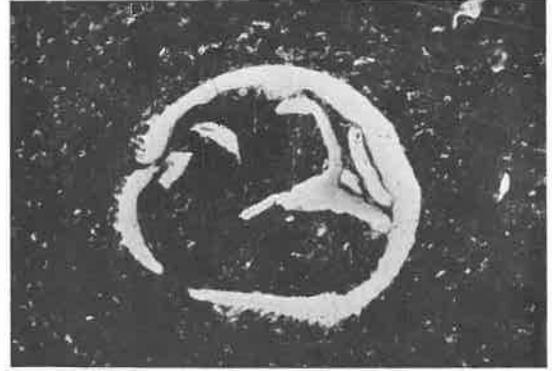


Fig. 10



Fig. 11



Figs. 12 y 13

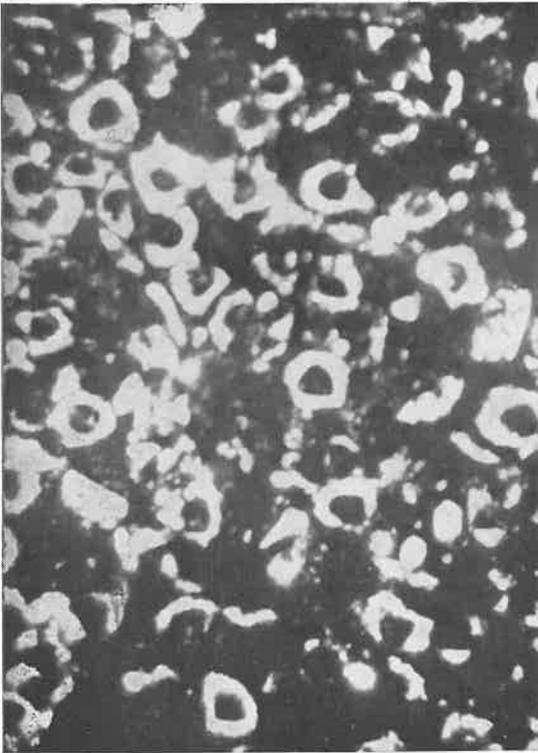


Fig. 14



Fig. 15



Fig. 16



Fig. 17

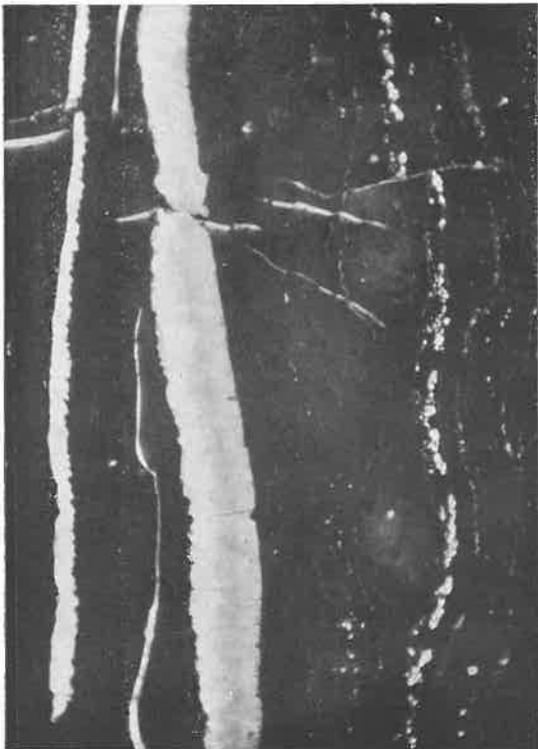


Fig. 18

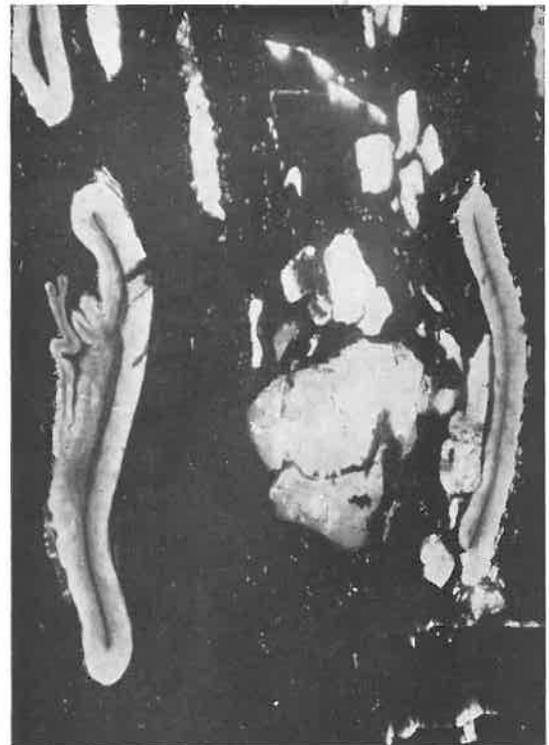


Fig. 19

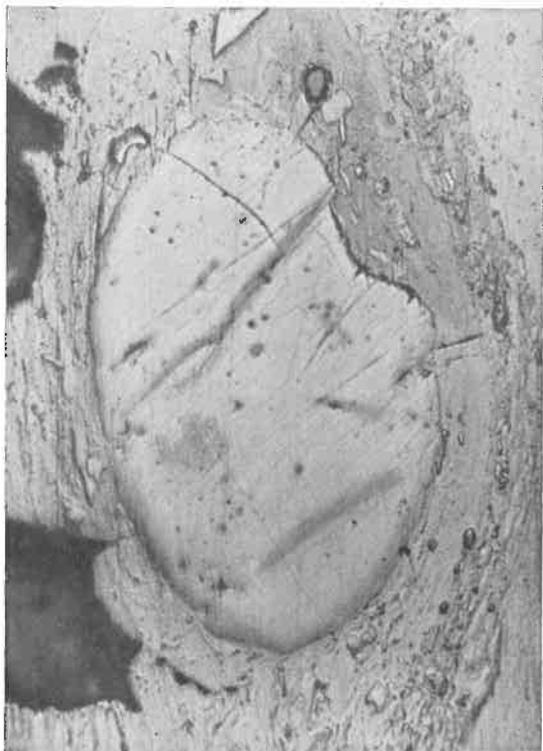


Fig. 20

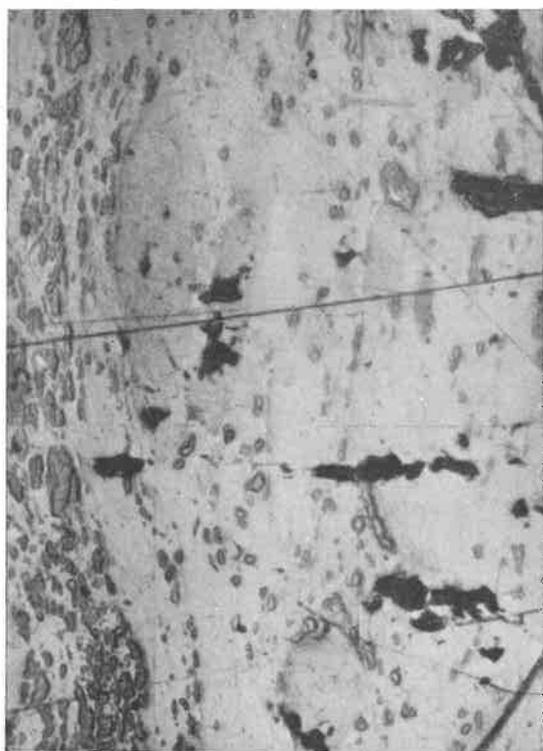
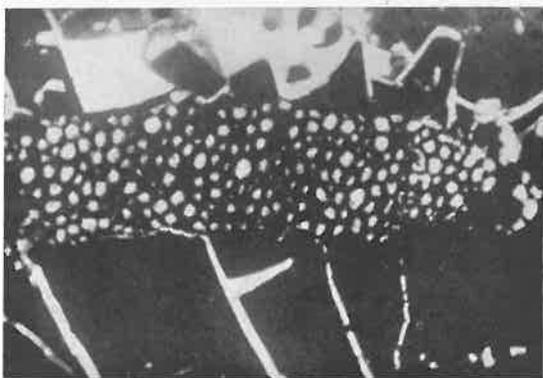
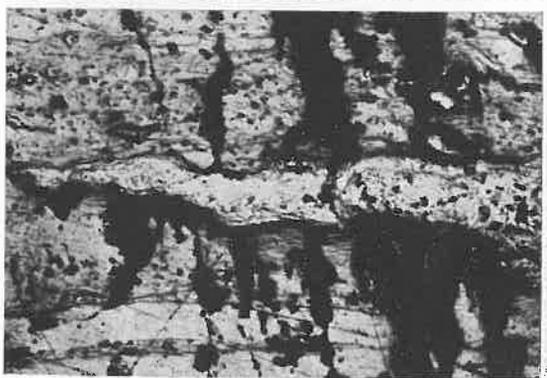
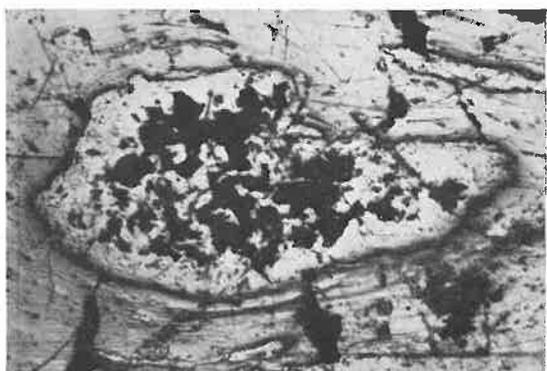


Fig. 21



Figs. 22 y 23



Figs. 24 y 25



Fig. 26

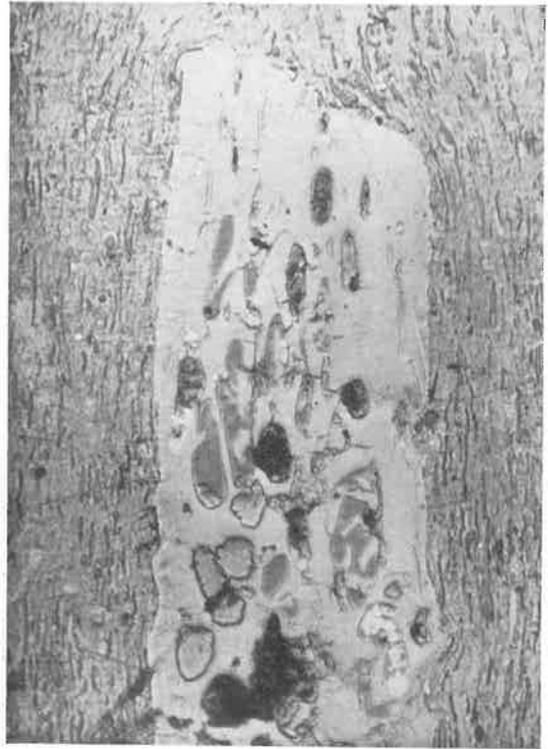


Fig. 27



Fig. 28

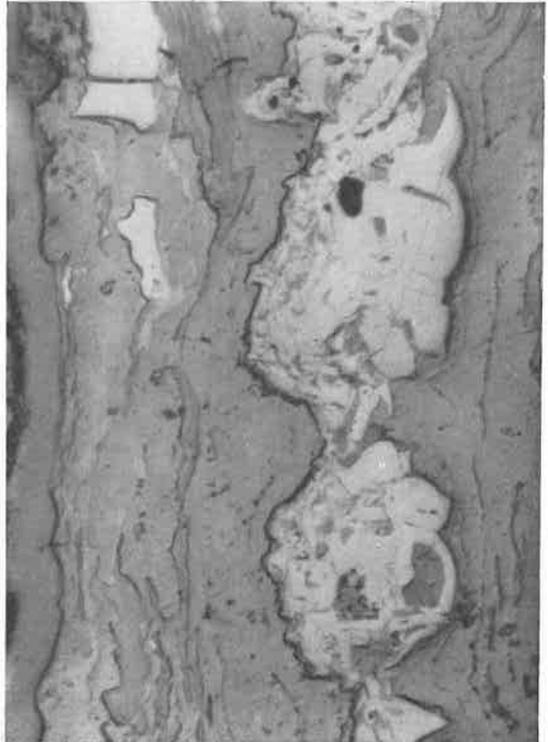


Fig. 29

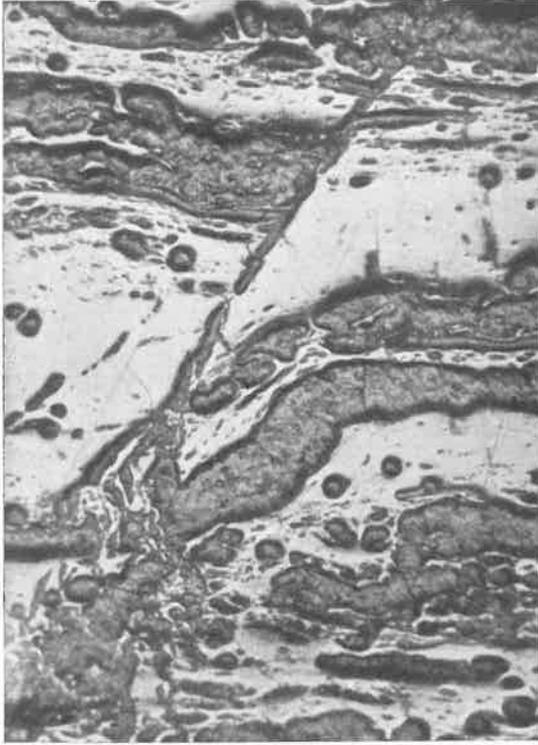


Fig. 30

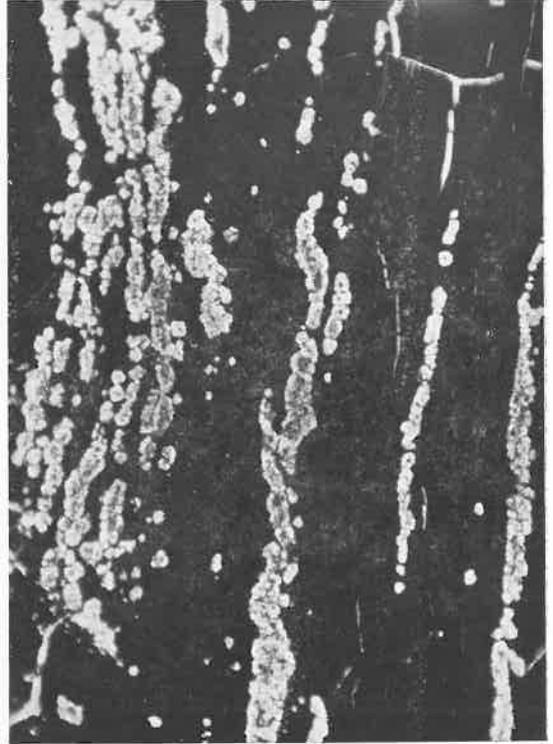


Fig. 31



Fig. 32

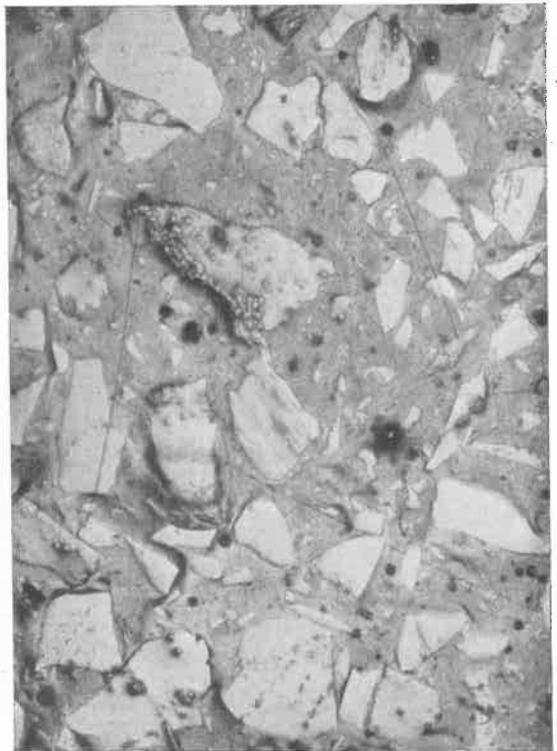


Fig. 33

de hierro y calcio precipitados de soluciones acuosas infiltradas en tales fisuras.

En su mayor parte, los minerales visibles al microscopio consisten en caolinita y arcilla detrítica, carbonatos romboédricos (calcita, dolomita, ankerita) y piritas de hierro.

También se ven frecuentemente capas o filones más o menos gruesos de areniscas, esquistos y pizarras, intercalados en las capas de hulla.

Las arcillas y las pizarras arcillosas, formadas por partículas muy finas, se confunden a veces por su aspecto con los durenos de microsporas. Los carbonatos se presentan bien cristalizados en romboedros o en concreciones esferoidales microscópicas, formando a veces capas compactas de algún espesor, o bien como relleno de las grietas. La pirita se presenta asociada frecuentemente con los carbonatos (menos abundante que éstos) y también diseminada en el carbón en forma de granos muy pequeños; a veces es posible distinguir los cristales bien formados. Carbonatos y piritas impregnan muy frecuentemente los fragmentos de fuseno dándoles una compacidad extraordinaria.

Las figuras 2, 23, 28, 30, 31 y 32 muestran algunos ejemplos de materias minerales en el carbón.

COMPONENTES MACROSCOPICOS Y MICROSCOPICOS. -NOMENCLATURA

Los residuos vegetales que se ven en el carbón, descritos anteriormente, ya empezaron a conocerse en las primeras observaciones microscópicas, sobre todo los corpúsculos más patentes como las macrosporas^{1, 2} aunque al principio no se hayan interpretado correctamente. Sin embargo hubo la tendencia desde el principio al estudio y clasificación de los carbones según características más bien macroscópicas. Es así que Stopes⁴ definió los cuatro *componentes macroscópicos* de las hullas bituminosas, vitreno, clareno, dureno y fuseno, y sobre es-

ta base se trabajó abundantemente sin prestar casi nunca la debida atención a la constitución íntima de dichos componentes que en realidad *no son homogéneos*, causa por la cual pueden presentar propiedades muy diferentes incluso en hullas de la misma clase. Por otra parte, esos componentes, aun con la misma constitución microscópica, poseen propiedades químicas y técnicas que varían en las distintas clases de carbones.

Conviene pues hacer distinción entre *clase* y *tipo* de carbón.

La *clase* de un carbón depende de su *grado de bullificación* (inkohlungsgrad, coalification); es decir, de lo que los ingleses llaman *rank*, o sea el grado de transformación que el carbón alcanzó a lo largo de su evolución desde la turba a la antracita. No obstante, algunos autores, especialmente Duparque, consideran carente de sentido tal término, porque suponen que la diferenciación de los carbones se debe a una clasificación por transporte de los residuos vegetales y a una diagénesis precoz. Ahora no se va a tratar del origen de la hulla y no se insistirá sobre esto; no obstante la clase del carbón tiene un significado preciso y claro: queda definida por el conjunto de propiedades químicas y técnicas del carbón que permiten catalogarlo en uno de los grupos preestablecidos de acuerdo con la posible utilización del combustible: hullas secas de llama larga, h. de gas, h. grasas, h. de coque, h. de vapor, h. secas de llama corta, h. antracitosas y antracitas⁵⁹. La clase queda determinada de ordinario por el análisis inmediato o el elemental y algún ensayo complementario (p. ej. hinchamiento al crisol).

El *tipo* en cambio, depende de la índole de los residuos vegetales que entran a formar parte del carbón y de la proporción y repartición de estos ingredientes microscópicos, todo lo cual se refleja en un número de propiedades físicas fácilmente observables que permiten una clasificación litológica.

De esta manera, en el carbón considerado como roca, se distinguen los cuatro tipos

(rock types) o componentes macroscópicos de Stopes^{4, 60}.

A simple vista estos componentes se presentan en los carbones bituminosos con las siguientes características:

El *Vitreno*, en bandas o lentes horizontales de hasta 20 mm de espesor; con lustre brillante, vítreo, color negro, reflexión especular, fractura plana perpendicular a la estratificación o concoidea en otras direcciones, muy quebradizo, no ensucia las manos y no posee estructura ni estratificación interna cuando es puro.

El *Clareno*, en bandas delgadas o espesas (a veces capas completas) estratificadas más o menos finamente; con lustre sedoso o satinado, reflexión difusa menos intensa que la del vitreno (o sea más mate), más compacto y menos quebradizo que éste.

El *Dureno*, en bandas espesas o finas muy duras y compactas, con superficies de rotu-

fácilmente en polvo negro, sucio; muy semejante, en resumen, al carbón vegetal (fusain). Los bloques de carbón se rompen fácilmente por las capas de fuseno.

Una muestra de carbón bituminoso no consiste nunca en un tipo puro, sino que está compuesta siempre de mezclas en las que predomina generalmente uno u otro componente por lo que es frecuente el empleo de términos tales como *carbones brillantes* (bright coals, Glanzkohlen) o *carbones mates* (dull coals, splint coals), según sean ricos en vitreno y clareno, o en dureno. El fuseno nunca se presenta en cantidades grandes.

Cuando se trata de identificar estos componentes en carbones de coque o en hullas magras se observa que, a medida que disminuye el contenido de materias volátiles, aumenta el brillo general de la muestra y el dureno, tal como se describió, desaparece, subsistiendo solamente el vitreno, clareno y

CUADRO I.—MACERALES

Alginita (*)	.....	Algas.			
Exinita	.....	{ Esporinita.....	Exinas de esporas.		
		{ Cutinita.....	Cutículas.			
Resinita	.....	Resinas, contenidos celulares.			
Vitrinita	.....	{ Colinita.....	Compuestos úlmicos redepositados, precipitados de una solución.		
		{ Ulminita.....	Tejidos celulares que perdieron completamente su estructura.			
		{ Telinita..	{ Xilinita.... Tejidos lignificados.			
		{ Periblinita.. Tejidos corticales...				
		{ Suberinita.. Tejidos suberosos...	Tejidos celulares con la estructura conservada, pero borrosa y difícilmente visible.			
Inertinita	{	Micrinita.....	{ M. fina (**).	Residuos vegetales finamente divididos.	{	Más brillantes que la vitrinita.
			{ M. compacta (**)			
		Semifusinita	Tejidos celulares con estructura clara...	Más brillantes que la vitrinita y la semifusinita.	
		Fusinita	Tejidos lignificados con estructura clara.		
Esclerotinita (**)	.....	Esclerocios de hongos.....			

ra finamente granular o irregular, aspecto mate, grisáceo y estratificación muy poco marcada.

El *Fuseno*, en finas capas o en lentes de unos centímetros de espesor como máximo, formadas por una materia negra fibrosa, mate o con brillo sedoso (según la incidencia de la luz), muy quebradizo, deshaciéndose

fuseno. Sin embargo este fenómeno es aparente tan sólo, la observación microscópica permite llegar a conclusiones diferentes.

La naturaleza heterogénea de los componentes macroscópicos indujo a Stopes a introducir el concepto de *macerales*^{60, 61, 62} (macerals, Mazeralien o Gefügebstandteile) los cuales no son otra cosa que las unidades mi-

(*) No se ha encontrado ninguna referencia del maceral característico de los bogheads (carbones de algas), excepto la sugerencia de Stopes⁶⁰ de llamar *Algain* al tipo petrológico correspondiente. Se sugiere pues el término *Alginita*.

(**) Estos nombres, posteriores al 2.º Congreso de Heerlen,^{19, 58} fueron aceptados en el Tercero^{62 bis}.

cropetroológicas homogéneas que forman el carbón, es decir los componentes microscópicos. El nombre de macerales (de *macerare*) fué propuesto por analogía con el de minerales, ya que aquellos desempeñan en el carbón el mismo papel que éstos en las rocas.

Los caracteres físicos, químicos y morfológicos, de los macerales son similares a los de los minerales. A las formas cristalinas de éstos corresponden los vestigios de la estructura celular de los vegetales originales²⁰.

Stopes propuso la terminación *-inite* (en alemán *-init*), que puede traducirse al español por *-inita*, como característica de los macerales y dió una nomenclatura completa que luego fué aprobada casi íntegramente en el 2º Congreso internacional de Estratigrafía Carbonífera⁶².

De este modo resultan los nombres que se fueron citando cuando se definieron los componentes microscópicos. En el cuadro I

cosas. Además de los cuatro tipos ya establecidos por Stopes, se introdujeron términos compuestos (claro-virite, duro-clarite, etcétera, etc.) cuyo uso resulta más bien perjudicial y engorroso⁶³.

A continuación se describe la constitución de los cuatro componentes macroscópicos que se resumen en el cuadro II.

El *fuseno* está constituido por *fusinita* como componente fundamental o a veces por *semifusinita* muy parecida a la *fusinita*. Las cavidades celulares pueden estar huecas o bien rellenas de materia mineral, por lo que suele distinguirse una variedad *dura* y otra *blanda*⁶⁵, aunque mejor sería decir *compacta* y *frágil* o *porosa*.

El *vitreno* se compone esencialmente de *vitrinita* con inclusiones de *resinita* en algunos casos (contenidos celulares) y a veces impurezas de residuos leñosos o de *exinita*. Frecuentemente se presenta atravesado ver-

CUADRO II.—CONSTITUCION PETROLOGICA DE LOS COMPONENTES MACROSCOPICOS (*)

COMPONENTES MACROSCOPICOS	MACERALES (Componentes microscópicos)					
FUSENO		<i>Resinita</i>			Semifusinita	FUSINITA
VITRENO		Resinita	VITRINITA		<i>Semifusinita</i>	<i>Fusinita</i>
CLARENO	EXINITA	<i>Resinita</i>	VITRINITA	<i>Micrinita</i>	<i>Semifusinita</i>	<i>Fusinita</i>
DURENO	EXINITA	<i>Resinita</i>	Vitrinita	MICRINITA	Semifusinita	<i>Fusinita</i>

SEMIFUSINITA = Componente principal
Semifusinita = » secundario
Semifusinita = » accesorio

se ven resumidos los macerales con indicación de su constitución.

La terminación aceptada por el Congreso para los componentes macroscópicos fué la de *-ite* (*-it* en alemán) o bien *-ain* para Inglaterra y Francia en donde estaba ampliamente extendida. En español se extendió igualmente la terminación *-eno* por lo que es inútil adoptar la de *-ita* que complicaría las

ticamente por fisuras, muchas veces rellenas de materia mineral (carbonatos, piritas, etcétera). No obstante, el vitreno es el componente que suele dar menos cenizas.

El fuseno y el vitreno, cuando son puros, pueden considerarse como macrocomponentes homogéneos (prescindiendo de la materia mineral) ya que están constituidos por un solo maceral. Por el contrario el clareno

(*) Basado en un esquema de Kühlwein⁶⁴.

y el durenio son mezclas de dos macerales y por tanto son esencialmente heterogéneos.

El *clareno* consta fundamentalmente de exinita y vitrinita; de modo que puede distinguirse una variedad de esporas y otra de cutículas; a veces está formado por apilamientos de hojas. Cuando se empobrece en exinita puede pasar insensiblemente a vitreño. El *clareno* puro es raro, casi siempre está impurificado con micrinita, semifusinita y fusinita (véase más abajo).

El *durenio* consiste en mezclas de exinita y micrinita en proporciones variables. La exinita está representada principalmente por microsporas; las macrosporas no son raras y pueden abundar; las cutículas por el contrario faltan casi siempre. Ordinariamente la micrinita representa un porcentaje muy apreciable, a veces muy grande; pero hay algunos casos en que las esporas forman casi la totalidad del *durenio*. Wandless y Macrae⁶⁶ distinguieron esta variedad con el nombre de *durenio negro* y llamaron *durenio gris* al rico en micrinita. El *durenio* contiene muchas veces porcentajes bastante elevados de materia mineral que está finamente dividida y dispersa entre las esporas y la micrinita.

En el *durenio* se presentan como impurezas fragmentos de vitrinita, resinita, semifusinita y micrinita. Cuando el *durenio negro* se enriquece en vitrinita, se transforma en *clareno*; ambos tipos son relativamente raros. El *durenio gris*, mucho más frecuente, da lugar, con la vitrinita, a un tipo de roca, que consiste en una mezcla de exinita, micrinita y vitrinita, que es muy abundante. Muy frecuentemente esta mezcla se confunde con el *clareno* propiamente dicho, ya que su aspecto macroscópico es idéntico al de éste, e incluso con el microscopio metalográfico se distinguen difícilmente, cuando se usan objetivos en seco, porque la micrinita pasa desapercibida con mucha facilidad y se confunde con la vitrinita. Teniendo en cuenta que los distintos microcomponentes tienen propiedades muy diferentes, se comprende

la conveniencia del empleo de los objetivos de inmersión (por reflexión) mediante los cuales se distinguen perfectamente todos los macerales. Estas mezclas de exinita, micrinita y vitrinita de aspecto parecido al *clareno*, deben considerarse según Stach⁵⁸ como mezclas de *clareno* y *durenio* ($\frac{1}{2}$ exinita + vitrinita y $\frac{1}{2}$ exinita + micrinita) o mejor de vitreño y *durenio* (vitrinita y micrinita + exinita).

Las figuras que se acompañan muestran algunos ejemplos del aspecto que presentan al microscopio los macrocomponentes de los carbones bituminosos; en particular las siguientes: fuseno: figs. 23, 24, 25, 26 y 28; vitreño: figs. 5, 6 y 10; *clareno*: figs. 1, 5, 16 y 21; *durenio*: figs. 3, 4, 7 y 8. Las figuras 9 y 17 son mezclas de vitreño y *durenio*, ricas en vitrinita, que frecuentemente se consideran como *clareno*.

Cuando se observan al microscopio carbones de distintas clases, se ve que a medida que aumenta el grado de hullificación (disminuyen las materias volátiles) aumenta también la reflectividad de la vitrinita, y con ella la de los demás macerales de tal modo que se aproxima a la de la fusinita, que se mantiene constante. Así pues, el contraste entre los distintos microcomponentes disminuye y los carbones se hacen más brillantes. El empleo del fotómetro, junto con el objetivo de inmersión en el microscopio metalográfico, condujo a Seyler a la deducción de conclusiones y leyes muy interesantes e inesperadas^{20, 21}. El resultado es que la distinción de dichos macerales es cada vez más difícil; la exinita se hace invisible, llegando a confundirse en color y relieve con la vitrinita, y los macrocomponentes cambian de aspecto.

Por esta razón Stopes limitó su nomenclatura a los carbones bituminosos y muchos otros investigadores distinguieron, en las hullas de coque y en las magras, tan solo tres componentes (*clareno*, vitreño y fuseno). Los autores alemanes sin embargo¹⁹, basándose en la composición micropetrológica (cuadro II), siguen distinguiendo el *durenio*,

aunque macroscópicamente se aproxime cada vez más al clareno y al vitreno.

En el caso de las antracitas muy magras, la mayoría de los macerales permanece invisible al microscopio aun con objetivos de inmersión. Todos tienen el mismo tinte que la vitrinita, sólo la fusinita se puede identificar a duras penas por sus cavidades celulares y en algunos casos por un poco de relieve. Para poner al descubierto la estructura es necesario recurrir al empleo de la luz incidente polarizada ⁶⁷: la fusinita es isotropa, mientras que la vitrinita es claramente anisótropa y la semifusinita muestra una anisotropía muy débil, lo que permite diferenciarlas perfectamente.

A continuación se resumen algunos términos importantes de las nomenclaturas de otros autores, para que sirva de noticia:

Duparque ⁷, ⁶⁸ procura emplear nombres que se definan por sí mismos fácilmente y evita la nomenclatura doble que considera una complicación inútil: *fusain*; *bouille mate* (dureno); *b. semibrillante* (clareno); *b brillante* (vitreno precipitado de soluciones coloidales = colinita); *xylovitrain* (ulminita); *xy-lain* (periblinita, xilinita), etc.

Thiessen ⁶⁸ llama *anthraxylon* a todos los residuos leñosos transparentes, o sea a la telinita, y *atritus* a los residuos vegetales desmenuzados de cualquier índole, distinguiendo el *translucent atritus* (clareno) y el *opaque atritus* (dureno rico en micrinita); la *opaque matter*, *brown matter* y *humic degradation matter* se identifican con la micrinita y la semifusinita.

APLICACIONES DE LA PETROGRAFIA HULLERA.—EL ANALISIS PETROGRAFICO DEL CARBON

El estudio microscópico fué quizá el instrumento más poderoso en la investigación del origen y modo de formación de la hulla. Su utilidad puede ser grande también para la identificación y correlación de capas en la prospección minera y desde luego es indispensable en toda clasificación racional

de los carbones. Así pues, es necesario en el estudio científico de cualquier yacimiento.

También en la industria tiene un puesto importante. Las propiedades físicas, químicas y técnicas de las hullas están siempre influidas por su composición petrográfica; pero el estudio de las relaciones entre ésta y aquéllas es muy difícil a causa de la complejidad de los fenómenos, y aún actualmente está en pleno desarrollo. Las descripciones cualitativas de la estructura petrográfica fueron muy útiles y rindieron servicios preciosos, sobre todo a la ciencia pura, pero actualmente se hacen insuficientes; la técnica moderna exige que los fenómenos y datos observados con el microscopio puedan traducirse en números; por ésto los petrógrafos se han esforzado en hallar métodos de *análisis petrográfico cuantitativo*, aplicando principios ya usados anteriormente con las rocas eruptivas, pero perfeccionando los medios y adaptándolos principalmente al examen por reflexión.

El análisis microscópico puede aplicarse a las capas de carbón o bien a muestras, generalmente pulverizadas, procedentes de otras investigaciones o de la industria. Por lo tanto hay que distinguir entre el estudio microscópico de bloques y el de muestras granulosas o pulverulentas. En la primera parte de este artículo se describió ya la preparación de superficies pulidas y láminas delgadas de bloques de carbón y la toma de columnas-muestra. Falta pues dar noticia de los métodos de preparación de muestras pulidas de granos o polvos de carbón.

En algunas ocasiones se han examinado al microscopio estereoscópico los polvos de carbón directamente, con luz transmitida o por reflexión y se han podido sacar conclusiones acerca de su composición petrográfica ⁶⁹. También se puede realizar este estudio en condiciones muy buenas empleando los sistemas de iluminación incidente oblicua (ultropak de Leitz p. ej.) que equivalen a la ultramicroscopía por transparencia, combinados con luz transmitida coloreada.

Sin embargo estos métodos resultan in-

suficientes por completo y es necesaria la preparación de superficies pulidas con los polvos o granos de carbón. Para lograrlas, es preciso obtener un bloque compacto que, en algunos casos, se consigue mediante simple compresión, pero que casi siempre se prepara cementando los granos con una sustancia apropiada (cera carnauba, goma laca, resina de Schneiderhöhn, baquelita, etcétera)^{28, 58, 70, 71}. De este modo se preparan bloques de 3×3 cm que se pulen de la manera ordinaria y que, observados al microscopio, presentan el aspecto de la fig. 33.

Si la muestra granulosa del carbón está mezclada homogéneamente en el bloque, la superficie pulida mostrará una composición en donde podrán hacerse medidas cuantitativas. De los distintos métodos que se ensayaron para ello, los más efectivos y exactos son los fundados en el de Rosiwal. El porcentaje en volumen de cada componente o maceral es directamente proporcional a la suma de las longitudes de los segmentos interesados por las partículas de dicho componente a lo largo de una recta imaginaria trazada sobre la superficie de la preparación. Así pues, se pueden realizar análisis cuantitativos mediante un ocular micrométrico y una platina provista de carro; o mejor, mediante las llamadas *platinas de integración* en las que se desplaza la preparación mediante distintos tornillos micrométricos que corresponden a otros tantos macerales, leyéndose los porcentajes de éstos en los micrómetros.

El análisis petrográfico puede realizarse determinando el porcentaje de los componentes macroscópicos, y éste es el más corrientemente empleado desde hace mucho tiempo; pero los resultados obtenidos pocas veces son concordantes y satisfactorios, debido a las variaciones de constitución de cada macrocomponente, por lo que más recientemente se recurrió al *análisis de macerales*^{20, 21, 55, 58, 72} que se realiza perfectamente empleando los objetivos de inmersión y la platina de integración. Así, las mezclas de vitreno y dureno (o clareno y dureno) se

resuelven en los tres macerales fundamentales exinita, vitrinita e inertinita (o inertes, véase el cuadro I), que permiten el trazado de diagramas triangulares muy útiles^{20, 58, 72}.

Todavía queda una incertidumbre, debido a que la semifusinita presenta características variables intermedias entre la vitrinita y la fusinita. Seyler^{20, 21} midiendo las reflectividades con un fotómetro, la desdobra hipotéticamente en estas dos y mediante la platina de integración consigue llegar a resultados más precisos, relacionando los diagramas triangulares con la composición química. Sin embargo, el análisis de macerales sin recurrir a la fotometría, es de por sí suficiente para el estudio técnico de los carbones y está tomando gran incremento en estos últimos años en los que la preocupación de relacionar las propiedades técnicas y microscópicas ocupa un primer plano en la investigación del carbón.

EXPLICACION DE LAS FIGURAS

Todas las microfotografías han sido hechas con objetivos en seco. Las secciones perpendiculares al plano de estratificación suelen publicarse con la estratificación horizontal; pero la mayoría de las figuras de este artículo están colocadas verticalmente para obtener una mejor disposición de las láminas.

Fig. 1.—Hulla grasa de la Camocha (Asturias) capa 1.^a Superficie pulida, sección vertical, aumentos $\times 80$.—Clareno con microsporas abundantes y varios fragmentos de macrosporas muy aplastadas (grises oscuras) dispersas en vitrinita (de color gris claro).

Fig. 2.—Hulla de coque de Douai (Dép. du Nord, Francia). Sup., pul., sec. vert., aumentos $\times 80$.—Carbón rico en cenizas. De arriba abajo: banda de vitrinita (blanca), lentes de esquisto y arcilla (grises); filete de vitrinita impura (blanca) con un fragmento de fusinita en el centro a la derecha; filetes arcillosos (grises oscuros). En la vitrinita se ven grietas verticales de contracción.

Fig. 3.—Hulla de gas de la Inesperada (Asturias), capa 2.^a Sup., pul., sec. vert., aumentos $\times 30$.—Dureno muy rico en exinita. Macrosporas abundantes (en forma de sacos aplastados, gris claro) y microsporas muy numerosas (pequeños gránulos grises) cementadas por micrinita (blanca). Arriba, a la izquierda, dos macrosporas tienen sus cavidades rellenas de microsporas; otras están plegadas caprichosamente.

Fig. 4.—*Idem. Idem.*—Dureno más rico en micrinita que el de la fig. 3. Acumulaciones de microsporas cementadas por una mezcla de vitrinita y micrinita (que no se distinguen entre sí dada la pequeña diferencia de reflectividad) con dos macrosporas.

Fig. 5.—*Hulla de gas de Nœux (Pas-de-Calais, Francia), fosa 7, 4.ª vena. Sup. pul., sec. vert., aumentos x 57.*—Clareno. Los $\frac{2}{3}$ superiores muestran un clareno rico en microsporas; en el centro, el extremo de una hoja mostrando las dos cutículas; en el tercio inferior, una banda de vitreno.

Fig. 6.—*Hulla de gas de la Inesperada (Asturias), capa 2ª Sup. pul., sec. vert., aumentos x 23.*—Vitreno. Bandas de vitrinita separadas por delgados filetes de microsporas.

Fig. 7.—*Idem. Lámina transparente, sec. vert., aumentos x 30.*—Dureno rico en exinita. Las esporas se ven blancas (transparentes) y la micrinita negra (opaca). Algunas macrosporas presentan apéndices (arriba a la izquierda). Las microsporas muy abundantes, se ven como puntos blancos.

Fig. 8.—*Idem. Idem.*—Dureno rico en micrinita, con algunas macrosporas plegadas o provistas de apéndices (izq.).

Fig. 9.—*Hulla grasa de la Camocha (Asturias), capa 1.ª Lám. transp., sec. vert., aumentos x 57.*—Clareno impuro, o mejor mezcla de dureno y vitreno. En el centro, macrospora plegada. En la vitrinita transparente (gris) se ven dispersas numerosas partículas de micrinita (negras opacas).

Fig. 10.—*Hulla seca de llama larga de la Houve (Creutzwald, Mosela, Francia), veine Marie. Lám. transp., sec. vert., aumentos x 57.*—Filete de vitreno: Bandas de vitrinita (gris) intercaladas en un dureno de microsporas (puntos blancos) muy rico en micrinita (masa negra). La vitrinita está atravesada por grietas (blancas) que desaparecen en el dureno.

Fig. 11.—*Hulla de gas de Nœux (Pas-de-Calais, Francia), fosa 7, 4.ª vena. Lám. transp., sec. horiz., aumentos x 30.*—Secciones de dos macrosporas mostrando su forma discoidal; las irregularidades se deben a plegamientos de las exinas.

Fig. 12.—*Hulla de gas de la Inesperada (Asturias), capa 2ª Lám. transp., sec. horiz., aumentos x 30.*—Macrospora provista de apéndices piliformes (a la izq. y abajo) y mostrando claramente, en el interior, la marca de la tétrada.

Fig. 13.—*Hulla seca de llama larga de Mickelfield (Leeds, Inglaterra). Lám. transp., sec. horiz., aumentos x 30.*—Sección incompleta de macrospora. La forma subtriangular se debe a la marca de la tétrada. Está rodeada de microsporas abundantísimas.

Fig. 14.—*Idem. Lám. transp., sec. horiz., aumentos x 150.*—Secciones de microsporas mostrando su forma discoidal.

Fig. 15.—*Hulla de gas de Nœux (Pas-de-Calais, Francia), fosa 7, 4.ª vena. Sup. pul., sec. horiz., aumentos x 340.*—Microsporas y fragmentos de microsporas (gris oscuro)

dispersas en una pasta heterogénea de vitrinita (gris medio) y micrinita (gris claro).

Fig. 16.—*Idem. Sup. pul., sec. vert., aumentos x 30.*—Clareno con microsporas y residuos de cutículas muy finas. En el centro, extremo de una hoja gruesa con sus cutículas rodeando los tejidos internos transformados en vitrinita.

Fig. 17.—*Idem. Lám. transp., sec. vert., aumentos x 57.*—Clareno de hojas y microsporas, o mejor, mezcla de dureno y vitreno, pues la micrinita (partículas negras) es abundante. En el centro, varias cutículas fragmentadas y el extremo de una hoja, cuyas cutículas tienen estructura reticular; los tejidos internos conservan vestigios de la estructura celular.

Fig. 18.—*Idem. Lám. transp., sec. vert., aumentos x 30.*—Gruesas cutículas (a la izq.) mostrando los bordes internos finamente dentados. A la derecha, tejidos celulares y cutículas finas (hilera de puntos blancos).

Fig. 19.—*Hulla de gas de la Inesperada (Asturias), capa 2ª Lám. transp., sec. vert., aumentos x 57.*—Entre dos macrosporas, varios fragmentos irregulares muy transparentes de resinita.

Fig. 20.—*Hulla de coque de Douai (Dép. du Nord, Francia). Sup. pul., sec. vert., aumentos x 340.*—Cuerpo resinoso oval con relieve marcado.

Fig. 21.—*Hulla de gas de la Inesperada (Asturias), capa 2ª Sup. pul., sec. vert., aumentos x 70.*—Clareno con microsporas dispersas en una vitrinita abundante que presenta inclusiones de resinita (manchas ovales apenas visibles, sin relieve, ligeramente más oscuras que la vitrinita).

Fig. 22.—*Hulla de coque de Douai (Dép. du Nord, Francia). Lám. transp., sec. vert., aumentos x 180.*—Arriba, banda de vitrinita (gris claro) con impurezas de arcilla (partículas brillantes); en el centro, varios cuerpos resinosos alterados casi opacos (negros) de forma globosa; abajo, dureno rico en micrinita.

Fig. 23.—*Hulla de St. Etienne (Loire, Francia). Lám. transp., sec. vert., aumentos x 57.*—Tejido leñoso transformado en fusinita (centro de la fig.) con las cavidades celulares muy patentes (sección transversal), rellenas de materia mineral transparente. Encima y debajo hay numerosos huecos y grietas (blancos) producidos al preparar la lámina delgada a causa de la fragilidad del carbón.

Fig. 24.—*Hulla de coque de Douai (Dép. du Nord, Francia). Sup. pul., sec. vert., aumentos x 80.*—Fragmento de fusinita con la estructura celular obliterada. Por su fragilidad, se produjeron durante el pulido numerosos huecos.

Fig. 25.—*Idem. Sup. pul., sec. vert., aumentos x 57.*—Banda de fusinita con la estructura deteriorada; la vitrinita que la rodea está atravesada por numerosas grietas verticales.

Fig. 26.—*Idem. Sup. pul., sec. vert., aumentos x 150.*—Extremidad de un fragmento de fusinita con la estructura celular muy deteriorada.

Fig. 27.—*Cannel coal de Nœux (Pas de-Calais, Fran-*

cia), fosa 7, 4.^a vena. *Sup. pul., sec. vert., aumentos x 180.*—Extremo de un fragmento de tejido leñoso transformado en semifusinita, con estructura celular bien conservada; algunas cavidades celulares están rellenas de resinita (gris, sin relieve), otras con materias minerales. El fragmento leñoso yace en un durenno de microsporas.

Fig. 28.—Hulla grasa de la Camocha (Asturias), capa 1.^a Sup. pul., sec. vert., aumentos x 23.—Lentes de fuseno muy mineralizado (gris oscuro con gránulos brillantes).

Fig. 29.—Hulla de gas de Noeux (Pas-de-Calais, Francia), fosa 7, 4.^a vena. Sup. pul., sec. vert., aumentos x 300.—En la mitad derecha, corpúsculos blancos de semifusinita (esclerotinita?) con estructura celular deteriorada, pero aún visible. En la mitad izquierda, fragmentos de semifusinita y micrinita (blancos o grises muy claros), y de exinita (grises oscuros) dispersos en la vitrinita (gris medio).

Fig. 30.—Hulla grasa de la Camocha (Asturias), capa 1.^a Sup. pul., sec. vert., aumentos x 30.—Concreciones carbonatadas: lechos y nódulos de carbonatos primarios depositados entre filetes de vitrinita. Transversalmente corre una microfalla rellena de carbonatos secundarios.

Fig. 31.—Idem. Lám. transp., sec., vert., aumentos x 180.—Concreciones carbonatadas (transparentes).

Fig. 32.—Pizarra carbonosa de S. Victor (Hulleras del Turón). Sup. pul. de una preparación granulosa, sec. vert., aumentos x 45.—En la mitad izquierda, fragmentos de vitrinita mezclados con materia arcillosa, que se enriquece en vitrinita hacia el cenfro. A la derecha, esquistado de grano más grueso.

Fig. 33.—Hulla grasa de la Camocha (Asturias), capa 1.^a Sup. pul. de una preparación granulosa, aumentos x 35.—Granos de carbón muy rico en vitrinita, cementados con una mezcla de goma laca y resinas. En el centro, un grano de carbón con concreciones carbonatadas.

BIBLIOGRAFIA

- ¹ Witham, H., *Phil. Mag.*, **7**, 23, (1830).
- Witham, H., *The internal structure of fossil vegetation found in the Carboniferous and Oolitic deposits of Great Britain*, 84 p., Edimburgo, 1833.
- Witham, H., «Fossil vegetation», *Rept. Brit. Assoc.*, Oxford p. 578 a 584, 1835.
- ² Hutton, W., «Observations on Coal». *London and Edinburgh Phil. Mag.*, II, p. 302 a 304 (1833).
- «William Hutton's Observations on Coals» (reproducción del artículo original publicado en 1833, con notas de Hickling), *Trans. Inst. Min. Eng.*, **90**, 243 (1936).
- ³ Wethered, «On the structure and origin of Carboniferous Coal Seams», *J. Roy. Micros. Soc.*, 1885, p. 406 a 440.
- ⁴ Stopes, Marie C., «On the four visible ingredients in banded bituminous coal: Studies in the composition of coal, n.º 1», *Proc. Roy. Soc.*, serie B, **90**, p. 470 a 477 (1919).
- ⁵ Fayol, H., «Études sur le terrain houiller de Commentry, Lithologie et Stratigraphie», *Bull. Soc. Ind. Min.*, serie 2, **15**, 546 p. y un atlas, St. Etienne (1877).
- ⁶ Stopes, M. C. y Wheeler, R. V., «The constitution of coal», *Fuel*, **3**, págs. 3, 63, 97, 129, 179, 196, 254, 288, 328, 356 y 393 (1924).
- ⁷ Duparque, A., *Structure microscopique des charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais*, tomo 11 de las *Mem. Soc. Geol. Nord.* 2 vols. 756 págs., 61 láminas, Lille, 1933.
- ⁸ Stach, E., *Lehrbuch der Koblenpetrographie*, 7 + 293 páginas, Berlín, 1935.
- ⁹ Horton, L., Randall, R. B., y Aubrey, K. V., «The constitution of Coal. Summary of existing knowledge», *Fuel*, **23**, p. 65 a 80 y 100 a 109 (1944).
- ¹⁰ Cady, G. H., *Coal Petrography*, Capítulo 3.º de *Chemistry of Coal utilization*, 1.º vol., p. 86 a 131, Edit. Lowry, New York, 1945.
- ¹¹ Horton, L., «The constitution of coal», *J. Inst. Fuel*, **23**, **130**, p. 91 a 95 (1950).
- Horton, L., «La constitución del carbón» traducción del artículo anterior por V. Gómez Aranda, *Combustibles*, **51**, p. 25 a 31 (1950).
- ¹² Pertierra, J. M., «Estudio petrográfico de los carbones del Ruhr». *Revista Minera*, 1 junio 1932.
- ¹³ Castells, J. y De la Concha, S., «Nota sobre una veta de carbón anómalo hallado en la capa 41 del grupo «Urbies» de Hulleras del Turón», *Notas y comunicaciones del Inst. Geol. y Minero de España*, **15**, p. 223 a 230 (1946).
- ¹⁴ Gómez Aranda, V., «Química de los carbones III». *Combustibles*, **40**, p. 171 a 174 (1947).
- ¹⁵ Pintado Fe, F., *El carbón: Algunos aspectos de los estudios sobre su origen, propiedades, preparación y utilización*, 3 tomos, 1949, 1950, 1951.
- ¹⁶ Rodríguez Pire, L., *Estructura macro y microscópica del carbón*, capítulo 2.º de *Introducción a la investigación de las hullas* de Pintado, R. Pire y Bertrand, p. 19 a 44, 1950.
- Rodríguez Pire L., «Estructura macro- y microscópica del carbón», *Combustibles*, **53**, p. 200 a 209 (1950).
- ¹⁷ Bonet, M. C., «Estudio microscópico del carbón y métodos que se utilizan», *Estudios geológicos*, **13**, p. 177 a 187 (1951).
- ¹⁸ Stach, E., «Der Kohlenreliefschliff, ein neues Hilfsmittel für die angewandte Kohlenpetrographie», *Mitt. d. Abt. f. Gesteinswirtschaft und Bergtechnik*, **23**, p. 255 a 263 (1930).
- Publicación citada en ⁸, p. 233.
- Stach, E., *Glückauf*, **73**, p. 330 a 333 (1937).
- ¹⁹ Abramsky, C., Mackowsky, M. Th., Mantel, W. y Stach, E., *Atlas für angewandte Steinkohlenpetrographie*, Verlag Glückauf, Essen, 1951.
- ²⁰ Seyler, C. A., «Petrology and the classification.

of coal», *Fuel*, **17**, p. 177 a 186, 200 a 209 y 235 a 242 (1938).

²¹ Seyler, C. A., «Technique of Coal Petrography». *Fuel*, **28**, p. 121 a 127 (1949).

Seyler, C. A., «Characteristic petrological components of coal», *Fuel*, **31**, p. 159 a 170 (1952).

²² Duparque, A. y Massinon, J., «Les substances amorphes et les pulpes végétales des houilles», *An. Soc. Geol. Nord*, **64**, p. 39 a 57 (1939).

²³ Thiessen, R., «Structure in Palæozoic bituminous coals», *Bull.* 117, Bur. of Min., p. 10 a 13 (1920).

²⁴ Thiessen, R., Sprunk, G. C. y O' Donnell, H. J., «Preparation of thin sections of coal», *Fuel*, **17**, p. 307 a 315 (1938).

²⁵ Lomax, J., «The preparation of transparent sections of coal», *Fuel*, **1**, p. 79 a 84 (1922).

Lomax, J., «Examen microscopique du charbon», *Chal. et Ind. (C. R. du Congrès de chauffage industriel)*, **40**, p. 452 a 459 (1923).

Lomax, J. y J. R., *Bull.* 14, *Lancash. and Chesb. Coal Res. Assoc.* p. 24, 1923.

²⁶ Raistrick, A. y Marshall, C. E., *The nature and origin of coal and coal seams*, the Engl. Univ. Press., p. 269, Londres, 1948.

²⁷ Evans, W. P., «The formation of fusain from a comparatively recent angiosperm», *New Zealand J. of Sci. and Techn.*, **11**, 262 (1929), y *Fuel*, **9**, p. 282 a 288 (1930).

²⁸ Boddy, R. G. H. B., «The preparation of thin sections of coal using bakelite as an embedding medium», *Fuel*, **13**, p. 269 a 271 (1934).

²⁹ Jeffrey, E. C., «The origin and organization of coal», *Mem. Amer. Acad. Arts. Sci.*, **15**, p. 52 (1924).

³⁰ Winter, H., «Die mikroskopische Untersuchung der Kohle im auffallenden Licht», *Glückauf*, **49**, p. 1406 a 1413 (1913).

Winter, H., «The examination of Coal by reflected light. The colloidal nature of coal», *Fuel*, **2**, p. 78 a 82 (1923).

³¹ Wahl, A. y Bagard, P., «Examen microscopique des houilles», *Compt. Rend. Acad. Sci.*, **157**, p. 380 a 381 (1913).

³² Seyler, C. A., «The microstructure and banded constituents of anthracite», *Fuel*, **2**, p. 217 a 218 (1923).

³³ Seyler, C. A., «The microstructure of coal», *Fuel*, **4**, p. 56 a 66 (1925).

³⁴ Williams, T. B., «Identification of coal», *Econ. Geol.*, **21**, **4**, p. 364 a 374 (1926).

³⁵ Iwasaki, Ch., «A new method of studying the microstructure of coal: etching by tetralin», *Fuel*, **8**, p. 143 a 144 (1929).

³⁶ Turner, H. G. y Randall, H. R., «A preliminary report on the microscopy of anthracite coal», *J. of Geol.*, **31**, p. 306 a 313 (1923).

³⁷ Publicación citada an ⁷ p. 32.

³⁸ Duparque, A., «La structure microscopique des charbons de terre. Les quatre constituants de la houille

du Nord de la France», *An. Soc. Geol. Nord*, **50**, p. 56 a 79 (1925).

Duparque, A., «Application du microscope métallographique à l' étude des charbons de terre», *Compt. Rend. Congr. Soc. Savantes de Paris et des départements, Poitiers 1926*, p. 227 a 235, Paris 1927.

Publicación citada en ⁷, p. 35 a 38.

³⁹ Stach, E., «Der Kohlenreliefschliff, ein neues Hilfsmittel für die angewandte Kohlenpetrographie», *Mitteil d. Abt. f. Gesteins-, Erz-, Koble-, und Salzuntersuch. Herausgeg. v. d. Preuss. Geol. Landesanstalt f. 1927*, **2**, p. 75 a 94 (1927).

⁴⁰ Publicación citada en ⁷, p. 40.

⁴¹ Idem p. 43.

⁴² Idem. p. 47 a 51.

⁴³ Idem. p. 43 a 46

⁴⁴ Idem. p. 234 y sig.

⁴⁵ Idem. p. 248 y sig.

⁴⁶ Duparque, A. y Hevia, V., Comunicación verbal hecha en la sesión del 11 de junio de 1952 de la *Soc. Geol. du Nord de la France*, Lille.

⁴⁷ Sprunk, G. C. y Thiessen, R., «Spores of certain american coals», *Fuel*, **11**, p. 360 a 370 (1932).

Fuel Research Board, *Report of the Dep. of Sci. and Ind. Res.*, Londres, años 1934 y siguientes.

⁴⁸ Bertrand, C. Eg. y Renault, B., «Pila bibractensis et le Boghead d' Autun», *Bul. Soc. Hist. Nat.*, **V**, p. 159 a 253, Autun 1892.

Bertrand, C. Eg. y Renault, B., «Reinschia australis et premières remarques sur le kerosene shale de la Nouvelle Galles du Sud», *id.* **VI**, p. 321 a 425 (1893).

⁴⁹ Publicación citada en ⁷, p. 105.

⁵⁰ Idem., p. 121.

⁵¹ Evans, M. M., Slater, L. y Wheeler, R. V., «On Vitrain», *Fuel*, **18**, p. 30 a 36 (1929).

Marshall, C. E., «The constitution of anthraxylon (vitrain or vitrinite) and its relation to type and rank variation in coal seams», *Fuel*, **22**, p. 140 a 155 (1943).

Publicación citada en ²⁶, p. 181 a 192.

⁵² Idem citada en ⁷, p. 123.

⁵³ Idem., p. 127 a 130.

⁵⁴ Thiessen, R. y Sprunk, G. C., «The origin of the finely divided or granular opaque matter in splint coals», *Fuel*, **15**, p. 304 a 315 (1936).

⁵⁵ Kellet, J. G., «The physical constitution of bituminous coal and coal seams», *Trans. Instn. Min. Eng.*, **75**, p. 400 a 412 (1928).

⁵⁶ Hoffmann, E. y Stach, E., «Die Mattkohlengrundmasse», *Glückauf*, **67**, p. 1111 a 1118 (1931).

⁵⁷ Stach, E., «Die Opaksubstanz in der Steinkohle» *Sitzgsber d. Pr. Geol. Landesanstalt*, **7**, p. 15 a 25 (1932).

⁵⁸ Stach, E., «Die Vitrit-Durit-Mischungen in der petrographischen Kohlenanalyse», *Brenns. Chem.*, **33**, 21/22, p. 361 a 370 (1952).

⁵⁹ Clasificación provisional de las hullas produci-

das por las minas españolas, *Bol. Inform. Inst. Nac. Carbón*, **2**, p. 19 a 22 (1952).

⁶⁰ Stopes, M. C., «On the petrology of banded bituminous coal», *Fuel*, **14**, p. 4 a 13 (1935).

⁶¹ Seyler, C. A., «Rock, mineral and maceral», *Fuel*, **22**, p. 46 a 48 (1943).

⁶² Jongmans, W. J., Koopmans, R. G. y Roos, G., «Nomenclature of coal petrology» Memorandum del 2.º congreso internacional de estratigrafía carbonífera de Heerlen (Holanda), 9-12 sept. 1935, *Fuel*, **15**, p. 14 a 15 (1936).

^{63 bis} Meléndez, B., «El tercer congreso de estratigrafía y geología carboníferas de Heerlen (Holanda), 25-30 jun. 1951», *Estudios Geológicos*, **14**, p. 477 a 496 (1951).

Alvarado, A. de, «Notas referentes al 3er congreso de estratigrafía y geología carboníferas de Heerlen (Países Bajos)», *Notas y comunicaciones del Inst. Geol. y Minero de España*, **24**, p. 103 a 121 (1951).

⁶³ Duparque, A., «La question des constituants macroscopiques des houilles. Un précurseur: Henry Fayol», *Ann. Soc. Géol. Nord*, **71**, p. 9 a 40 (1952).

⁶⁴ Kühlwein, F. L., *Petrographische Kohlenuntersuchungsverfahren*, capítulo L de *Untersuchungsverfahren für feste Brennstoffe*, de H. Brückner, p. 238 a 261, Munich 1943.

⁶⁵ Patteisky, K. y Perjatel, F., «Beschaffenheit und Ursprung der Faserkohle», *Glückauf*, **64**, p. 1505 (1928).

Parr, S. W., Hopkins, H. C. y Mitchell, D. R., «Fusain», *Fuel*, **10**, p. 181 a 182 (1931).

⁶⁶ Wandless, A. M. y Macrae, J. C., «The banded constituents of coal. [Inter-relationships deduced from analytical data]», *Fuel*, **13**, p. 4 a 15 (1934).

⁶⁷ Hsieh, C. Y., «Some new methods in coal petrography», *Fuel Bull.*, n.º 2, publicado en el *Bull. Geol. Soc. China*, **9**, **3**, p. 311 a 328 (1930).

Duparque, A., «Sur l'emploi de la lumière po-

larisée dans l'examen microscopique des surfaces polies d'anthracite et sur la détermination des teneurs en tissus ligneux de ces combustibles», *Compt. Rend. Acad. Sci.*, **228**, p. 1143 a 1145 (1949).

Duparque, A., «L'étude microscopique de certains anthracites en lumière incidente polarisée», *Ann. Soc. Géol. Nord*, **69**, p. 103 a 126 (1949).

⁶⁸ Thiessen, R. y Francis, W., «Terminology in coal research», *Fuel*, **8**, p. 385 a 405 (1929).

Thiessen, R., «Recently developed methods of research in the constitution of coal and their application to Illinois coals», *Fuel*, **10**, p. 72 a 94 (1931).

⁶⁹ Nötzold, E., «Le microscope au service de la préparation», *Rev. Ind. Minér.*, **31**, **563**, p. 192 a 198 (1950).

⁷⁰ Stach, E. y Kühlwein, F. L., «Die mikroskopische Untersuchung feinkörniger Kohlenau bereitungsprodukte im Kohlenreliefschliff», *Glückauf*, **64**, p. 842 a 845 (1928).

Stach, E. y Kühlwein, F. L., «The microscopical examination of fine coal-cleaning products by the method of relief-polishing», *Fuel*, **8**, p. 191 a 199 (1929).

Stach, E., «Ein neues Staubschliff-Verfahren», *Glückauf*, **70**, p. 155 a 159 (1934).

Van der Ploeg, *Glückauf*, **71**, p. 837 (1935).

Bird, P. H., «Mounting concentrates and tailings for microscopic study», *Eng. Min. J.*, **136**, p. 233 a 234 (1935).

Pieters, H. A. J., Koopmans, H. y Hoovers, J., «The carbonisation of vitrains and their mixtures», *Fuel*, **15**, p. 43 a 50 (1936).

⁷¹ Publicación citada en ⁸, p. 227 y sigs.

⁷² Mackowsky, M. Th., «Möglichkeiten zur zeichnerischen Darstellung der Kohlenpetrographischen Zusammensetzung von Flözen, Kohlenarten und Streifenarten», *Glückauf*, **87**, p. 175 a 178 (1951).

