ALGUNAS IDEAS

SOBRE LA

GÉNESIS DE LOS CARBONES

POR

JUAN SANCHEZ Y ARBOLEDAS

Ingeniero de Minas.

(REVISTA MINERA, Madrid, Agosto á Diciembre de 1922.)

MADRID

IMPRENTA DEL SUCESOR DE ENRIQUE TEODORO

Glorieta de Santa María de la Cabeza, 1.

1922

ALGUNAS IDEAS

SOBRE LA

GÉNESIS DE LOS CARBONES

POR

JUAN SANCHEZ Y ARBOLEDAS

Ingeniero de Minas.

(REVISTA MINERA, Madrid, Agosto y Septiembre de 1922.)

MADRID

IMPRENTA DEL SUCESOR DE ENRIQUE TEODORO

Glorieta de Santa María de la Cabeza, 1.

1922

«Cuando se está en presencia de un depósito de carbón se deberá determinar, para cada caso particular, las condiciones genéticas, no aplicando una teoría única, sino estudiando las particularidades del yacimiento y la naturaleza de las asociaciones vegetales, las cuales permitirán escoger entre las diversas interpretaciones expuestas.»

E. HAUG (1).

Si mi querido amigo y compañero el Sr. Pérez Salado no hubiera dado un carácter general á su teoría (2), seguramente no habría motivado controversia alguna, y, á lo más, alguien se hubiese limitado á consignar que, aunque tal teoría es admisible, no conviene, sin embargo, á ninguna de las cuencas carboníferas hoy en explotación, á los verdaderos yacimientos de carácter industrial (sin exceptuar el de Commentry), en los que está plenamente demostrado su origen vegetal, según veremos más adelante. Y como para evidenciar este último hay que demostrar primero cómo los restos vegetales pueden haber formado las grandes acumulaciones que por su transformación posterior han degenerado en carbón, empezaremos examinando esta cuestión para después ver cómo partiendo del vegetal se puede llegar á la hulla.

Hace unos días, acaso un par de semanas, leía las

(1) *Traité de Géologie*, T. I., pág. 142.

(2) *Sobre una ¡nueva teoría del origen de los carbones minerales*, REVISTA MINERA.

conferencias dadas por M. Stopes en la Universidad de Sheffield sobre la constitución del carbón *(The constitution of coal.—Palæobotanical aspects)* é in mente me asociaba á su protesta sobre los perjuicios que ha causado la aplicación al carbón de los calificativos de mineral ó de piedra para indicar su origen. Como sostenía con mucho acierto M. Lebour, en una reciente discusión en la *British Association,* bueno es que para los geólogos el carbón sea un mineral, una roca estratificada, pero fuera del campo de la especulación científica suprímase el adjetivo; resérvese, si se quiere, el nombre de carbón vegetal para el de leña y empléese el de hulla para el mineral; pero prescindamos del calificativo de mineral para designar este último. La consecuencia de su uso es que para el vulgo, para los profanos, el carbón sea un mineral, ó á lo más una masa de plantas mineralizadas, y que los técnicos lleguemos á familiarizarnos con el calificativo, en forma tal, que de cuando en cuando pase por nuestra imaginación la sospecha de que el carbón pueda ser de origen inorgánico.

Cuando en Inglaterra vino á ser el carbón de uso corriente, lo que tuvo lugar hacia el reinado de Carlos I (1625-1649), era general la creencia en su origen inorgánico, creencia que fué también sustentada por Agrícola, Stolluti, y aun á fines del siglo XVIII, por Kirvan. Sin embargo, ya hacia la mitad del siglo XVI, Cordus relacionaba las plantas y el origen del carbón, y á fines del mismo siglo, Klein admitía que el carbón estaba formado por plantas impregnadas de betún. Numerosos son los investigadores que en los dos últimos siglos se han consagrado al estudio del carbón *para llegar á evidenciar* el origen vegetal del mismo, contribuyendo cada uno con su grano de arena á formar el pedestal sobre el que se yerguen nuestros cono-

cimientos actuales, y que, á pesar de la independencia de sus materiales, no es tan poco estable que se derrumbe al menor soplo.

Aunque la Geología ensancha y amplía nuestra noción del tiempo, no están nuestros sentidos en condiciones de apreciar la importancia del requerido para la formación de cualquier sedimento: ¡es tan corta la vida! Y precisamente esta incapacidad nuestra es la que motiva que se dé importancia á un argumento que realmente no la tiene. Lapparent, en efecto, al tratar de combatir la teoría de la formación *in situ*, arguye que «varios bosques vírgenes bastarían, acaso, para formar algunos centímetros de hulla». Sin querer, y como hace notar muy bien el Sr. Pérez Salado, al emitir dicha objeción combate tanto la teoría de la formación *in situ* como la de la formación por arrastre; pero tanto uno como otro autor revelan el no haber apreciado con exactitud la enorme lentitud con que se han formado los sedimentos carboníferos, el gran lapso de tiempo que ha sido preciso para la sedimentación de las masas de restos vegetales que han originado las capas de carbón. Nada tiene de particular dicho error, pues procede de que, asignando á la Tierra una edad muy pequeña, asustaba pensar en que si para formarse el conjunto de los depósitos hulleros del País de Gales se han necesitado unos seiscientos cuarenta mil años y la edad de la Tierra era sólo de veinte millones de años, según el cálculo de Lord Kelvin, resultaba que la sedimentación de una mínima parte de los estratos de la corteza había requerido más de $\frac{1}{40}$ de la edad total. Consecuencia: había necesidad de suponer una rápida sedimentación y enormes aluviones vegetales.

Hoy se admite que la Tierra es más anciana y que la edad que Lord Kelvin le atribuyó, deduciéndola del tiempo que ha sido necesario para que la temperatura de su superficie descienda de 3710° á la actual, es mucho menor que la obtenida partiendo de otras hipótesis más verídicas, y más en armonía con el estado actual de nuestros conocimientos. Según estas teorías, la galantería de Lord Kelvin resulta excesiva, como vamos á ver.

Procede el error de dicho cómputo de ignorar la existencia de substancias radioactivas en las rocas de la corteza, y que, por su disociación atómica, constituyen un manantial continuo de calor. Y como cada descubrimiento en una rama de la ciencia determina también un avance en las demás, ya que todas parten del tronco común de lo desconocido, de lo que es patrimonio de Dios, así los progresos realizados durante los últimos veinte años en el conocimiento de las substancias radioactivas no podían dejar de influir sobre nuestros conocimientos en Geología. Y la primera aplicación que se hace de tales estudios es al cálculo de la edad de la Tierra.

Tómase para ello como punto de partida la disociación del uranio en helio y un isótopo del plomo, de peso atómico 206. La relación de este cambio ha sido apreciada y se ha visto que un gramo de uranio puede producir, por año, $1{,}88 \times 10^{-11}$ gramos de helio y $1{,}22 \times 10^{-10}$ gramos del isótopo de plomo. Si al cristalizar el mineral de uranio estaba completamente libre de helio y plomo, es evidente que apreciando la cantidad de uno ú otro que en la actualidad contiene, se puede deducir aproximadamente la edad del mineral, y, por tanto, la de la roca que lo encierra.

Basándose en tales consideraciones, y en una dis-

cusión sostenida en Edimburgo, en la British Association, Lord Rayleigh calcula en mil millones de años la edad de la Tierra, en tanto que el Dr. Jeffrey, y durante la misma discusión, evaluó en dos mil quinientos millones de años dicha edad, basándose en consideraciones exclusivamente astronómicas, y tal ha sido el cambio de ideas sobre este punto, que si bien en 1911, época de la notable conferencia del Sr. Fábrega (1), distinguido profesor de Geología de nuestra Escuela, el cómputo medio era de cien millones de años, de los cuales una décima parte correspondían á la sedimentación de los estratos carboníferos, hoy se admite que desde el principio del Cambriano han transcurrido quinientos millones de años, y de ellos ciento cincuenta millones son asignados al carbonífero, ó sea quince veces más que la cifra antes indicada. Resultado: que ya no es preciso pensar en aluviones tan intensos ni en velocidades de decantación tan rápidas como antes eran necesarias. Y para convencernos mejor calculemos primero el tiempo que será suficiente para que los restos vegetales acumulados, *convertidos primeramente en turba, formen una capa de un metro de carbón,* para ver después que no son tampoco necesarios los *grandes bosques vírgenes* de vegetación exuberante, para cuya existencia y desarrollo hay que llegar hasta hacer intervenir la concepción de un clima privilegiado. ¡Cómo si en otras edades geológicas muy distantes de la carbonífera y *aun anteriores á ella* no se hubiese producido el fenómeno en condiciones climatológicas indudablemente muy diferentes!

---

(1) Véase "La edad de la Tierra,, conferencia explicada por el Sr. Fábrega en el Instituto de Ingenieros Civiles el 11 de Diciembre de 1911, pág. 14.

Según David White, en una turbera, los restos vegetales pueden originar un pie de turba cada diez años. Esta turba superficial, por su descomposición, y por el peso de la que sobre ella viene á depositarse, se transforma en una masa cuya compacidad va aumentando hasta el punto de que, á una profundidad de 18 pies, el pie de turba superficial se reduce á un espesor de 1 $^1/_8$ de pulgada, es decir, que en condiciones ordinarias un pie de turba profunda exige un siglo para su formación, y como según Ashley y Bischoff hay que tener en cuenta que el tránsito de la turba profunda á hulla lleva consigo una reducción de volumen de $^1/_5$, resulta que la formación de un pie de carbón exige 300 años, ó sea, aproximadamente, á *milímetro por año*, y por tanto, *la formación de una capa de carbón, de un metro, sólo requeriría 1.000 años,* cifra nada asombrosa y muy inferior al término medio del tiempo requerido para la deposición de un metro de sedimentos carboníferos, y que es de

$$\frac{150.000.000}{5,000} = 30.000 \text{ años.}$$

Tampoco hace falta suponer, para explicar la formación *in situ*, una abundancia grande de vegetación, ni condiciones climatológicas privilegiadas, aunque según se supone, las circunstancias atmosféricas y de temperatura parecen ser muy á propósito al desarrollo de una prodigiosa vegetación durante el período carbonífero. En efecto, suponiendo en una hectárea de terreno la existencia de 2.000 pinos, cifra nada considerable, el aumento anual de madera de la plantación sería de unos $0,2 \times 2.000 = 400$ metros cúbicos, es decir, equivalente á una capa de 40 centímetros extendida sobre el suelo, espesor suficiente para dar origen á

un milímetro de carbón. No perdamos nunca de vista que la Geología es una de las ciencias de fundamentos más obscuros y que más se presta á dar rienda suelta á la fantasía, y acaso esto sea la causa de que llegue á ser considerada como novela científica lo que reducido á sus verdaderas proporciones nos aproxima más y más al conocimiento de nuestro planeta, tanto de la parte accesible como de la que para nosotros es hoy un misterio inextricable. Muchos fenómenos geológicos dejarían de admirarnos si nuestra noción del tiempo pudiese ser exacta, si nuestra vida fuese más larga, y entre ellos, y acaso en las avanzadas, figura el que estudiamos: materiales y tiempo es lo que precisa, y de ambos pudo disponer. No hace falta ni que la corteza de la Tierra vibre como el parche de un tambor ni esos grandes bosques vírgenes de plantas gigantescas que ha sido preciso reproducir *con más ó menos fidelidad*, para que entre por los ojos lo que nuestra imaginación no podría siquiera llegar á forjarse.

El pasaje que el gran geólogo Suess consigna en la página 405 del tomo II de su inmortal obra *La faz de la tierra*, nos revela cómo en época relativamente reciente han existido grandes aluviones vegetales, si bien para mí el verdadero valor de dicho pasaje estriba en que nos permite concebir cómo al lado de una formación autóctona puede coexistir una alóctona.

Para terminar de justificar la posibilidad de la formación *in situ*, sólo nos queda ver cómo pudo originarse la alternancia del carbón con otros sedimentos, y para ello creo muy conveniente reproducir el siguiente párrafo de una de las conferencias dadas por el señor Fábrega al explicar su curso de Geología:

«Si concentramos la imaginación y suponemos que los tiempos hulleros, iniciados en tierras bajas, pues

de la gran emersión de la cordillera *caledoniana*, ocurrida entre el siluriano y el devoniano, transcurrieron unos nueve millones de años (1), durante los que dicha arruga terrestre fué denudada llegando quizá los continentes al estado de penellanuras; si recordamos que salvo oscilaciones grandes del suelo no se produjo otro gran levántamiento hasta el final de la época *westfaliense*, entre el hullero medio y superior, y que todo gran levantamiento tiene como precursor oscilaciones basculares de la corteza terrestre, vendremos en consecuencia que aquellos bajos continentes, mientras transcurrían las épocas «culm» y «westfaliense», ondulaban renovando la altitud media de las redes hidrográficas y las líneas costeras, es decir, renovando la actividad erosiva de las aguas continentales y marina.»

Dichos movimientos basculares de la corteza justifican no sólo la alternancia de sedimentos de distinta naturaleza, sino también la falta de troncos verticales en los estratos superpuestos á los restos vegetales. Un hundimiento del piso (movimiento positivo) determinaría la inmersión de la vegetación y su muerte. A más, y á causa del hundimiento, se modificó la orografía del terreno y naturalmente algún tiempo debió transcurrir hasta establecerse un nuevo estado de régimen hidrográfico, y un aporte normal de sedimentos detríticos procedentes de la denudación de las antiguas y de las nuevas tierras emergidas; el que fué un hermoso bosque pudo convertirse en lago de aguas tranquilas y formar después parte del lecho de un río, y constituir en él una verdadera *caja de pesca*. Un posterior movimiento negativo del fondo de esta enorme caja de pesca puede ser la causa determinante del desarrollo

---

(1) Srgún el cómputo medio del Sr. Fábrega.

de una nueva vegetación, que á la larga podría dar lugar á una nueva capa de carbón.

No debe, por otra parte, extrañarnos la movilidad del suelo durante el período carbonífero si se tiene en cuenta, de un lado, la larga duración de la edad hullera, y, de otro, que en nuestros tiempos históricos se recuerdan parecidas oscilaciones en tierras de Flandes, en el Canadá y en nuestro mismo país donde vemos hoy cubierta por el mar la antigua Gades romana, en el cabo de Roquetas sumergidas grandes junqueras de la época cuaternaria, y, al contrario, en la playa de Santoña, tierra adentro, las argollas donde amarró las naves Carlos V.

Estamos, pues, plenamente convencidos de la posibilidad de existencia de los bosques fósiles de Grand'Eury.

Esta teoría de la formación *in situ*, ó sea de hullas autóctonas, aunque muy antigua, debe su gran desarrollo á los trabajos de Grand'Eury, y sobre todo, á los de Potonié, profesor de la Escuela de Minas de Berlín. Puede decirse que esta teoría ha sido siempre la más combatida de todas, la verdadera cenicienta de las teorías emitidas para justificar la acumulación de los restos vegetales que han originado el carbón. Fué lanzada esta hipótesis en una época en que los estudios y descubrimientos de nuevas cuencas carboníferas ponía sobre el tapete la tan debatida cuestión del origen del carbón, á pesar de que aún no había tenido lugar el descubrimiento y comienzo de la explotación de las cuencas americanas de Richmond, Pittsburgo, Wyomin y Lackawanna. En la época á que nos referimos estaba en alza la teoría explicada por Scheuchzer en su libro sobre historia natural publicado en 1718, hipótesis catastrófica que atribuía al diluvio de Noé la acumula-

ción de los restos vegetales; fácil es darse cuenta de la revolución que había de determinar Beroldingen, cuando, hacia 1780, lanza su opinión sobre la identidad de origen y formación de la turba y la hulla. Las controversias fueron muy acaloradas, y como la teoría de Scheuchzer estaba muy arraigada, acabó por prevalecer, siendo relegada al olvido la de la formación *in situ*, hasta que Mc Culloch, en 1831, vuelve á desenterrarla y á preparar los trabajos de Grand'Eury y Potonié, sobre todo el de este último, que ha sido el verdadero apóstol de la teoría, acaso por circunscribir sus estudios y observaciones á los turbales del Norte de Alemania, llegando á caer en el error de que casi todas las hullas han tenido su origen en bosques pantanosos transformados *in situ*, idea muy exagerada.

Entre los varios argumentos que se esgrimen en contra de esta teoría, figura en primer lugar, el de la ausencia de troncos que teniendo sus raíces en el carbón penetren en los estratos superiores; ya hemos indicado anteriormente una de las razones que destruyen este argumento. Sin embargo, Grand'Eury ha observado la existencia de troncos verticales en las areniscas y pizarras en que arman las capas de hulla, observación que ha sido esgrimida por Lapparent en contra de la teoría *in situ*, al decir que tales troncos no se observan jamás en las capas de carbón, siendo enorme la importancia que los partidarios de la teoría del arrastre dan á este hecho que no tiene nada de singular.

Para convencernos de ello, hagamos notar que Lapparent, Fayol, etc., explican la transformación de los vegetales en hulla en la misma forma que Grand'Eury, es decir, admitiendo la fermentación, la acción bacterial. Y yo pregunto: ¿Qué razón existe para que las bacterias que han destruído los restos entremezclados de

los aluviones hayan respetado los troncos que pueden haber conservado la verticalidad después de un movimiento positivo del piso? ¿Es que la verticalidad lleva aparejada la inmunidad? ¿No es más natural pensar que el tronco que en un principio se sostuvo vertical haya muerto por su pie, ya que éste se encontraba introducido en el seno de un campo de bacterias, cuya voracidad nada respeta? Y si aún queremos hacer más patente la difícil conservación de tales troncos, basta echar mano del argumento de más fuerza: de la reducción de volumen de los restos vegetales durante el período de *hullificación*. Si la totalidad del aluvión sufre una reducción de espesor en la relación de 30 á 1, ¿por qué se prescinde de esta consideración que basta, por sí sola, para justificar la ausencia casi completa en la hulla de lo que pudiéramos llamar *macrofósiles*, en oposición con la existencia de *microfósiles*, tan abundantes que, real y verdaderamente, se siente uno admirado al aplicar el microscopio al estudio de los carbones?

Objétase también que los troncos que existen en los estratos, al yacente y techo de las capas, aparecen claramente cortados al llegar al carbón, lo que viene en apoyo de nuestra hipótesis: se ha destruído precisamente lo que ha estado dentro de la papilla, en fermentación. Es decir, que para nosotros sólo han conservado su forma los restos que han podido substraerse á la acción bacterial, ó se han encontrado en condiciones especiales de fosilización (silicificación, piritización, etc.).

M. Fayol, enemigo también de la teoría autóctona, cita la existencia en Commentry de un banco, llamado *Banc des roseaux*, en el que los troncos de Calamodendron y de Psaronius abundan de tal forma que parecen representar un bosque fósil. Algunos troncos conservan la verticalidad, otros aparecen caídos entre ho-

jas y frutos, y este fenómeno tan frecuente en las areniscas es muy raro en las pizarras y no se observa en las capas de carbón; además, los troncos que han perdido su verticalidad son cien veces más numerosos que los que han permanecido de pie, y, finalmente, cuando se presenta este caso se observa que los estratos de arenisca aparecen casi siempre curvados alrededor de los troncos que encajan. Pues bien, M. Fayol arguye que tales observaciones están en pugna con una lenta sedimentación sobre el piso del bosque fósil y, efectivamente, así parece y así debe ser, pues nada impide que sobre una capa autóctona se asienten materiales alóctonos, lo verdaderamente extraordinario sería el surgimiento espontáneo de tales elementos. Los troncos habrían llegado con el agua de arrastre de los materiales. Sin embargo, y como la Naturaleza parece que se complace en mostrarnos hechos contradictorios, como si tratase de despistarnos, como si tuviera interés en dificultar el que lleguemos á descifrar sus enigmas, nos presenta el caso de bosques sepultados por dunas de arena y en los que los árboles presentan su verticalidad. Así se han podido observar algunos turbales con un techo de arena entre la cual se ha comprobado la existencia de árboles en posición normal. Salvo estos casos particulares, que en ésta como en todas las cuestiones en que intervienen múltiples factores tienen que existir, creemos con Fayol que los restos vegetales normales á la estratificación han sido aportados por la corriente de arrastre de los sedimentos detríticos, pues, de lo contrario, habría que pensar que tales sedimentos se depositaron durante la vida del árbol, lo cual no es probable, aunque Potonié llama la atención sobre una observación suya: el crecimiento por etapas ó pisos de los Calamodendron, en cuyos troncos se ven nacer su-

cesivamente, según se realiza el hundimiento, nuevas raíces laterales, observación que le llevó á generalizar un fenómeno tan complejo como el de la formación y depósito de los aluviones vegetales.

Volviendo á examinar el hecho de la presencia de troncos verticales en algunos sedimentos detríticos, diremos que no debe extrañarnos que tales troncos hayan conservado su forma al ser soterrados por los materiales que integran tales sedimentos; la reducción de volumen de éstos es de 30 por 100, ó sea 20 veces menor que la sufrida por los sedimentos vegetales hullificados.

Dejemos para otro artículo el examen de los otros procesos de acumulación de restos vegetales, repitiendo que si estos procesos son muy diferentes, en cambio, es único el de la transformación de los vegetales en hulla, dependiendo el resultado final de que el proceso haya sido más ó menos completo y habiendo quedado sometido dicho producto, como todo cuanto integra la corteza terrestre, á la acción posterior de los agentes subterráneos que determinan los fenómenos de metamorfismo.

II

Anteriormente hemos visto cómo, en ciertas condiciones, las acumulaciones de restos vegetales pueden resultar del desarrollo y muerte de los vegetales *in situ*. Cometeríamos, sin embargo, un grave error si llegásemos á sentar que éste ha sido el origen de todas las acumulaciones que por su *hullificación* han originado el carbón.

Efectivamente, el mismo Grand'Eury, defensor acérrimo de la formación *in situ*, tuvo que rendirse

ante hechos que le evidenciaban la imposibilidad de justificarlos si no se admitía la existencia de un aporte de materiales, arrastrados por un vehículo líquido.

Lo primero que tiene que llamar nuestra atención es que si en una misma cuenca existen varias capas de carbón y su concordancia es perfecta, sería difícil el aplicar la teoría de la formación *in situ*, en la que la alternancia de las capas y sedimentos detríticos lleva aparejados una serie de movimientos del piso que, lógicamente, han de determinar discordancias más ó menos marcadas.

Otro hecho que naturalmente tiene que hacernos dudar, es que, á veces, el carbón se superpone directamente á bancos calizos impropios al desarrollo de los vegetales, cuyos restos hubieron de contribuir á la formación del carbón *in situ*.

También resulta difícil justificar la naturaleza autóctona de una capa que presenta intercalaciones de sedimentos detríticos discordantes con su estratificación.

El que una capa de carbón aparezca intercalada entre sedimentos que contengan fósiles marinos nos llevaría igualmente á poner en tela de juicio la teoría de la autoctonía.

Por último, ¿cómo nos explicaríamos el caso de sedimentos carboníferos que han penetrado en una cavidad de la caliza devoniana, de modo que sobre una arcilla conteniendo dientes de peces aparece una pequeña vena de carbón?

Todos estos hechos se explican perfectamente si se admite la aloctonía, esto es, que las acumulaciones de restos vegetales pueden también formarse merced al aporte de tales restos por la corriente de un río, es decir, tomando en consideración la teoría del arrastre, más antigua que la de formación *in situ*.

Ya Grand'Eury, al estudiar la cuenca de Saint-Etienne, llegó á establecer que la formación *in situ* constituye sólo una pequeña parte del depósito y que el resto lo integran las substancias acarreadas por verdaderos aluviones vegetales, en los cuales se reconoce la existencia de árboles arrancados de raíz; es decir, que los carbones de dicha cuenca son autóctonos y alóctonos, pero predominando estos últimos.

Los grandes defensores de la teoría de la formación de los aluviones por arrastre han sido en estos últimos tiempos Fayol y Lapparent, los cuales han sido á su vez los más temibles detractores de la formación *in situ*. Funda Fayol su convicción en el estudio tan detenido que llevó á cabo en la cuenca de Commentry, en la cual, y gracias á los grandes cortes que han permitido las explotaciones á cielo abierto, ha podido quedar fuera de duda el carácter de formación torrencial de la misma, pues, dentro de una misma capa, y a medida que se avanza en sentido longitudinal, se encuentra hulla de elementos vegetales diferentes; además, la estratificación no es regular, sino formada de capas con distinta inclinación, como sucede en los deltas, y las de carbón están á veces acuñadas entre las estériles y otras se ramifican en varias que se van separando gradualmente, por una intercalación de sedimentos detríticos. Como vemos, Fayol concede una gran importancia á la falta de concordancia de los estratos, lo que, según ya hemos indicado, puede ser uno de los rasgos característicos de la formación *in situ*.

Para nosotros el argumento más importante en favor de la aloctonía es el desdoblamiento que presentan las capas y, sobre todo, el hecho comprobado por Hixon del aumento de espesor, tanto de las capas como de los sedimentos detríticos, cuando se avanza en una

cierta dirección, es decir, cuando nos aproximamos al área de erosión. Así, estudiando los sedimentos carboníferos de la zona de los Apalaches, se observa un aumento de espesor hacia la parte oriental, y que la caliza carbonífera, que más á Poniente recubre los sedimentos devonianos ó silurianos, es reemplazada en la parte oriental por areniscas, pudingas y pizarras, formación costera que parece ser el delta ó los deltas de uno ó varios ríos cuyas áreas de erosión estuviesen á Saliente, en una tierra continental que hoy no existe pero que existió en las primeras edades geológicas, en que la península norteamericana formaba parte del continente nor-atlántico. Y como el área de sedimentación es siempre más pequeña que la de erosión, resulta que al Este de los Apalaches debió existir un importante continente surcado por uno ó varios grandes ríos que desembocarían, formando deltas, en un mar ó golfo semejante al de Méjico, concepción que difiere de la de Lapparent, que supone que las aguas torrenciales cargadas de gravas, cieno y restos vegetales venían á desembocar en las tranquilas y profundas de un lago, en el cual se verificaba una separación isodrómica, quedando de este modo cerca de la orilla las capas inclinadas de areniscas, luego las llamadas á constituir las pizarras, y, por último, los restos vegetales que más tarde habían de originar el carbón, y cuyas capas van perdiendo la inclinación hasta llegar á ser horizontales. Pero Lapparent supone que tales deltas se formaron en las aguas tranquilas de los lagos; ¿cómo justificar entonces la existencia de fósiles marinos, de pequeñas y grandes profundidades, en los sedimentos carboníferos? Esto se explica perfectamente admitiendo que tales deltas se formaron en el mar, á la desembocadura de los ríos, es decir, que por aloctonía se podría enton-

ces explicar la existencia de depósitos alóctonos, límnicos y parálicos, y aun la existencia, en un mismo depósito, de capas límnicas y parálicas, para lo que basta suponer una serie de oscilaciones del terreno sobre el que se forma un depósito límnico para que pase á ser alternativamente límnico y parálico; pero cuando se comprueba la existencia de fósiles marinos de zonas bathiales, como ha sucedido con el hallazgo de cefalópodos tabicados en Yorkshire y Lancashire, tendríamos entonces que recurrir á grandes oscilaciones del suelo, lo cual nos llevaría acaso á desechar la teoría. Sin embargo, y de acuerdo con Suess, no creemos que hayan sido siquiera necesarias estas grandes oscilaciones toda vez que los restos vegetales pueden haber sido transportados y sedimentados en el fondo de mares relativamente profundos, hecho que ha quedado fuera de toda duda desde el momento que se ha podido comprobar en la expedición del Blake acumulaciones de restos vegetales, en diversos grados de descomposición, aun á profundidades de 1.800 metros.

El mismo mar de los Sargazos, esa extensión tan enorme de ramas y hojas arrancadas por la corriente del Gulf-Stream de las costas antillanas y acumuladas en el remanso que forma en pleno océano, puede dar lugar, en cuanto iniciada que sea la putrefacción, aumente su densidad y caiga en bloque al fondo del mar, á la profundidad de 6.000 metros, á la formación de una capa hullera, tan extensa como la famosa de Pittsburgo.

Y tan evidente es la teoría del arrastre, que actualmente la sonda encuentra distintos lechos carbonosos de época histórica en el delta del Amazonas, y hasta en los fondos marinos, pues, según ya hemos indicado, y nos cuenta Agassiz, en el mar de los Caribes, á 1.800

metros de profundidad, un golpe de draga extrajo caña de azúcar y frutos en estado parcial de descomposición.

Citemos también los siguientes hechos y observaciones que consideramos de gran interés. En Nueva Orleans, y al hacer un sondeo para alumbrar aguas subterráneas, se encontraron trozos de materia leñosa á unos 300 metros de profundidad. Actualmente, en el delta del Misisipí, se observa la formación de unos montones de fango que llegan incluso á desviar el río, dificultando la navegación; accidentalmente, se forman pequeños islotes cerca del delta y de cuyos vértices se escapa una mezcla de hidrocarburos y agua salada, lo que se atribuye á la acumulación de los gases á que da lugar la descomposición de la materia vegetal que existe á gran profundidad, bajo la arcilla del delta, y que cuando llegan á adquirir una presión suficiente se escapan al exterior formando verdaderos sofiones ó malacubas. Por último, durante el temblor de tierra de 1812, en Nuevo Madrid se observó la aparición de pequeños géyseres por algunos cráteres del suelo arenoso, cuya agua *arrastraba trozos de lignito,* y como dicha región es el antiguo delta del Misisipí, y Nueva Orleans está á poca distancia, se ve cómo mientras que en ésta los restos vegetales conservan su naturaleza leñosa, en Nuevo Madrid se encuentran, en cambio, en un período más avanzado de hullificación.

La única objeción que podría hacerse á la teoría del arrastre es la de que acaso la fermentación hullera, la hullificación, no pueda producirse en el seno de las aguas saladas: los hechos que acabamos de citar demuestran lo contrario. Sólo hay que considerar una corriente profunda, que lleve la suficiente cantidad de oxígeno, para que la descomposición de los restos vegetales sea completa.

En resumen: si admitíamos la posibilidad de la sedimentación *in situ*, también consideramos factible la acumulación de restos vegetales por arrastre, y aun la coexistencia de ambas causas en la formación de una misma acumulación de restos vegetales. Consideramos, pues, admisible la siguiente clasificación de los procesos de sedimentación y acumulación de restos vegetales, clasificación basada en la debida a MM. Stopes y Wheeler (1).

A.—En el mar

1. Materiales de procedencia continental y arrastrados á grandes distancias de sus puntos de origen, sedimentándose los restos vegetales sobre el fondo del mar é independientemente de los materiales detríticos.

a) Acumulación de restos vegetales en grandes cantidades.

b) *Islotes ó balsas flotantes* de restos procedentes de vegetaciones costeras y de los suministrados por vegetales que se desarrollan en estas balsas, formación de carácter muy local (2).

2. Acumulaciones costeras de algas fucoides.

B.—En agua salada

1. Material acumulado *in situ*, procedente de la muerte de vegetales de bosques próximos á sus orillas y que por un movimiento de éstas han sido cubiertos por el mar.

2. Materiales acumulados *in situ* y suministrados por una vegetación semejante á la de las marismas y cipresales.

---

(1) *Monograph on the constitution of coal*, pág. 2.
(2) Ejemplo, el mar de los Sargazos.

3. Acumulaciones de vegetales desarrollados y muertos *in situ* y de otros arrastrados y procedentes de cortas distancias.

4. Depósitos resultantes de la combinación de A-1 a y A-1 b con B-1, B-2 y B-3.

C.—En agua dulce

1. En lagos de aguas tranquilas:

a) Acumulación de grandes troncos procedentes de bosques próximos;

b) Depósitos formados por el plankton ó vida microscópica del lago;

c) *b* mezclado con esporos, polen, y restos pequeños de plantas;

d) Acumulaciones de plantas que se desarrollan y mueren *in situ*, juncos, etc.;

e) *a*, *b* y *c* combinados con *d*, y á cuya acumulación de restos vegetales pueden sumarse, en varias proporciones, los procedentes de bosques ribereños que pueden quedar sumergidos por un cambio de nivel de las aguas del lago.

2. En estuarios, sobre el lecho de los ríos ó en los deltas:

a) Material procedente de bosques lejanos, formado por troncos en su mayor parte;

b) Material oriundo de bosques próximos, y que ya puede contener una gran proporción de partes blandas, hojas, etc., á más de los troncos;

c) Islotes flotantes ó balsas;

d) Acumulaciones de plantas acuáticas desarrolladas *in situ;*

e) Depósitos resultantes de la combinación de varios de los procesos *a*, *b*, *c* y *d*.

3. En pantanos que comprenden grandes áreas con

numerosos lagos, y resultando las acumulaciones del material desarrollado *in situ*, más ó menos mezclado con otro procedente del aporte por arrastre.

D.—En tierra

1. En terrenos húmedos y pantanosos, por acumulación de musgos, etc.

2. En tales terrenos cuando dotados de árboles y arbustos éstos se unen á vegetales inferiores para formar el turbal.

3. En los terrenos pantanosos derivados de C-3.

4. Acumulación sobre el piso de los restos vegetales procedentes de la muerte de uno ó varios bosques que se han sucedido *in situ*.

Vemos, pues, cuán diferentes pueden haber sido los procesos que han contribuido á la acumulación de los restos vegetales, y cuán amplio es nuestro criterio.

Un hecho que necesariamente ha de llamar poderosamente la atención de todos cuantos ahonden un poco en el estudio de la génesis del carbón, es que cuantos geólogos han estudiado á fondo la cuestión que nos ocupa se han inclinado en uno ú otro sentido, mejor dicho, han aceptado una teoría excluyendo la otra. Así, Grand'Eury, que empezó defendiendo la formación *in situ*, se inclina al final hacia la teoría del arrastre; Potonié defiende la autoctonía, así como Meunier, Fayol y Lapparent, en cambio, son enemigos de ella. Y es que cada uno de dichos sabios se ha especializado en el estudio de una cuenca determinada, á la que convenía una de dichas teorías, y han generalizado después cuantas consecuencias han deducido de tal estudio particular, olvidando la dificultad y el error á que frecuentemente conduce la generalización de fenómenos tan complejos como los geológicos por la facies que presen-

tan en un punto; sucede lo mismo que si del estudio de un filón se tratase de deducir toda la génesis de los filones.

Afortunadamente, y gracias á la aplicación del microscopio, se están desentrañando muchos enigmas: sobre todo, y tratándose del carbón, puede decirse que con su empleo se ha dado un verdadero paso de gigante en estos últimos años. Más adelante tendremos ocasión de comprobarlo.

Algunos autores, partidarios del origen inorgánico del carbón, llegan á negar la existencia de éste en los sedimentos anteriores y posteriores al carbonífero. La finalidad que con ello persiguen no la vemos bien clara, pues para relacionar el origen del carbón con fenómenos volcánicos no hay necesidad de limitar en el tiempo estas manifestaciones de la energía interna, que, aunque han presentado su máximo de intensidad en ciertas épocas, no son privativas de ninguna. Si fué necesario el desprendimiento de hidrocarburos para derivar de ellos el carbón, diremos que en la época actual aún se desprenden tales gases, y lo mismo ha debido suceder en anteriores épocas geológicas. ¿Cómo explicarían los defensores del origen inorgánico del carbón la presencia de capas de éste entre sedimentos posteriores al carbonífero? Habría que admitir la denudación de capas de dicha edad y una nueva deposición de los detritus de hollines sobre sedimentos más modernos. Claro es que, á primera vista, no hay nada que se oponga á este nuevo arrastre y deposición; pero si tenemos en cuenta el fenómeno de la oxidación lenta y espontánea del carbón, resultará que los carbones regenerados deben presentar propiedades muy diferentes á las de aquellos de que proceden, y la experiencia demuestra que no es así, que los hay coquizables, que

presentan el mismo poder aglomerante que los mejores carbones de fragua del carbonífero, etc., propiedades que varían tanto al contacto del aire, que, como decía Fayol, una buena hulla de cok suministra, después de seis meses de exposición al aire, un cok inaplicable en metalurgia. ¿Y qué son seis meses tratándose de fenómenos de sedimentación, en los que un infinitésimo de tiempo es una verdadera integral entre límites muy distantes?

Para anular la influencia del aire habría que suponer que los materiales detríticos de las antiguas capas proceden de la denudación de éstas bajo una capa protectora de agua, y ni aun así se podría asegurar su inalterabilidad, pues aún queda la acción bacterial, de la que ya es difícil prescindir.

No; no es sólo el carbonífero el único período geológico en que se han producido acumulaciones de restos vegetales, aptos para la hullificación. Trátase, por el contrario, de un fenómeno que ha tenido lugar en todas las épocas geológicas desde que se inició la vida vegetal; en todas ellas se dieron todas las circunstancias que concurren á la formación de dichas acumulaciones, vegetales aptos para recorrer el ciclo de su hullificación *in situ* ó después de su arrastre, agente para el arrastre, depresiones donde posarse y movilidad de la débil corteza que nos soporta para renovar tales depresiones.

A semejanza de otros fenómenos geológicos, presenta un máximum de intensidad en una época determinada, la carbonífera, no porque en ella los vegetales adquiriesen un enorme desarrollo (aunque parece ser lo más probable), sino por ser el período geológico de mayor duración, excepción hecha de los de la edad primaria; según el cómputo de Lewis, corresponderían

150 millones de años al carbonífero y sólo 70 millones al permiano, que es el que le sigue en duración. Dispúsose en dicha época, según hemos repetido varias veces, de materiales y tiempo, y, por si aun esto no fuera suficiente, el surgimiento de la cordillera herciniana vino á crear nuevas depresiones, á aumentar las parcialmente colmadas ó á originar otras.

Ya en el devoniano se encuentran capas de carbón, y si antes no aparecen no hay que pensar, para justificar este hecho, en que la vida vegetal no existía, sino en el metamorfismo tan intenso que generalmente nos presentan los sedimentos anteriores, metamorfismo que ha hecho desaparecer en la mayoría de ellos todo vestigio fosilífero.

Se ha dado una importancia considerable al hallazgo de grafito en el estrato cristalino, habiendo encontrado en este hecho un argumento decisivo para la defensa de sus respectivos puntos de vista, tanto los partidarios del origen inorgánico del carbón, como los que lo son de la teoría dualística. Hagamos notar: 1.°, que el grafito es considerado como el producto final del metamorfismo del carbón, en cuyo caso, y si el estrato cristalino (cuya duración, sedimentación, etc., es uno de tantos puntos obscuros como existen en Geología) comprende sedimentos pertenecientes á una época en que fué posible la vida, aunque de ello no nos haya quedado el menor indicio, no debe extrañarnos que el carbón se nos presente en ese estado límite; 2.°, que nada se opone á la existencia de grafito de origen inorgánico, como tampoco podríamos negar la existencia de asfaltos y betunes de igual procedencia; 3.°, que un producto de metamorfismo anterior al grafito es la antracita, y, por tanto, que el hallazgo de lentejones de antracita desde el estrato cristalino al devoniano tam-

poco debe admirarnos, ¡otra cosa sería el encontrar un carbón graso entre sedimentos fuertemente metamorfoseados!; 4.°, que muchos sedimentos considerados como pertenecientes á los tiempos primitivos pueden ser de formación posterior, pero intensamente metamorfoseados, y, 5.°, que tan exacto es lo anterior que, en los Alpes austriacos, los sedimentos carboníferos se asemejan á veces mucho á los del estrato cristalino, con los cuales se confundirían, á no ser por los fósiles que encierran y que, aunque muy imperfectos, permiten relacionarlos cronológicamente, y bueno es insistir en que el carbón entra para nosotros en la categoría de aspecto final, más ó menos avanzado, de una acumulación vegetal fosilizada.

Y no se crea que tales ideas han sido emitidas graciosamente con el fin de destruir un argumento que se ha esgrimido en favor del origen mineral del carbón, sino que se fundamentan en numerosas citas de hechos que las justifican. Así, el estudio detenido de las pizarras grafitosas de Pressnitz y Klamm ha demostrado que pertenecen al westfaliense, aunque el metamorfismo ha alterado profundamente los sedimentos primitivos; en los Alpes, en el Piamonte, pertenece, según Novarese, al westfaliense o estefaniense, una formación de gneiss y micacitas con grafito, que antes era atribuída al estrato cristalino; en los Cárpatos rumanos existen unas pizarras grafitosas y sericíticas, alternando con areniscas y pudingas, que contienen grandes lentejones de antracita, y que también pertenecen al carbonífero; y aún podíamos citar muchos casos más.

Resulta, pues, que ni el carbón es exclusivo de una edad geológica, ni tampoco es para nosotros la antracita el carbón más antiguo. Precisamente las capas devonianas de Spitzberg e islas árticas son de carbones

grasos, y, en cambio, son antracitosas las de Nielol (1), que arman en el trías superior.

Terminaremos este artículo con el siguiente cuadro en que resumimos la distribución geológica y geográfica de los carbones, y en el que las notaciones empleadas son:

A. Antracitas.
S. Hullas antracitosas.
B. Hullas grasas de llama corta.
G. Hullas grasas propiamente dichas.
C. Hullas grasas de llama larga.
L. Hullas lignitíferas y lignitos.

	Europa..	Asia.....	Africa ...	América del N..	América del S...	Oceanía.
Cuaternario .	l	l	l	l	l	l
Terciario....	B L	B L G	L	S G L A B	B L G	L
Cretáceo....	B L	b	G	A G L B S	B G	l
Jurásico y Triásico...	B l	A S B L	B	a g l b	a	a B
Permiano...	A B	B	B c	b	b	B
Permo carbonífero....	—	A B G	A B l	—	b	BG
Carbonífero medio y superior.....	A B c l G	A S	—	A B S G	—	b
Carbonífero inferior...	A B S	B	—	a B S	—	—
Devoniano..	b	—	—	—	—	—

Con las letras mayúsculas hemos tratado de indicar la existencia de grandes cantidades y con las minúsculas las formaciones de poca importancia.

(1) *Boletín minero*. Santiago de Chile, Noviembre de 1921.

III

En los dos artículos precedentes hemos justificado la posibilidad de la formación de aluviones vegetales. No se ha tenido necesidad de recurrir á hechos extraordinarios; ha bastado tomar como punto de partida, fenómenos actuales é insistir en la importancia del factor tiempo en Geología, y en la imposibilidad de darnos cuenta del requerido para la formación de cualquier sedimento.

Claro es, que al referirnos á fenómenos actuales que contribuyen á dar veracidad á cuanto llevamos dicho no hacemos alusión á los que se desarrollan en nuestro país. Ni los ríos en sus crecidas pueden arrastrar grandes cantidades de troncos de árboles, que, desgraciadamente, no existen en sus márgenes, ni podemos citar ningún ejemplo semejante al que suministra el pantano siniestro, lago Drummond, que se extiende á lo largo de la frontera de Carolina y Virginia, ni tampoco podríamos darnos cuenta de la posibilidad de acumulaciones de troncos formados á expensas del arrastre de los mismos por las aguas de un río, y de las que son ejemplo la originada por el río Metagami (Canadá), y la del Río Rojo, afluente del Misisipí; ejemplos que vienen en apoyo de una y otra teoría, autóctona y alóctona.

Pasemos ya á examinar cómo los restos vegetales que forman tales acumulaciones pueden hullificarse, no sin antes decir algo sobre las razones que llevaron á pensar en el origen vegetal del carbón.

Ya en el siglo XVIII se relacionaban la turba y la hulla, aunque el fundamento científico de esta asimilación era casi nulo, toda vez que sólo derivaba de la

abundancia de fósiles vegetales en las rocas que integran la formación carbonífera, sobre todo en los estratos que forman los hastiales de las capas. De vez en cuando, la presencia en el carbón de fósiles vegetales, perceptibles á simple vista, contribuía á que arraigase más la teoría del origen vegetal. A pesar de tales observaciones, los defensores del origen inorgánico del carbón aún podían defender su teoría, pues formado, por ejemplo, el carbón, por una sedimentación de hollines, no podía extrañar que contuviese fósiles, como cualquier otro sedimento. En aquella época se desconocía todavía la profusión de microfósiles que el microscopio se ha encargado de poner de manifiesto, toda vez que hasta muy entrado el siglo XIX, en 1831, no empezó la aplicación de dicho aparato al estudio del carbón. Fué Witham quien, en dicha fecha, inició estudios tan interesantes bajo todos conceptos, llegando á reconocer en un lignito la estructura de las coníferas. Proseguidos por Hutton, los aplicó á numerosos carbones, siendo el primero que llegó á diferenciar en el carbón la existencia de dos clases de material, uno brillante, parte cristalina del carbón, y otro mate. También indicó que las células aparecían llenas de una substancia, de color de vino, y que sólo podía hacerse tal observación en la parte mate. Hocker consideraba á dichas impresiones como esporos y Balfour llegó á más, identificándolas con esporos de ciertas licopodiáceas.

Como se ve, el estudio interesaba mucho desde un principio, tanto más cuanto que en él cifraban todas sus esperanzas los partidarios del origen vegetal del carbón, los cuales no llegaron ni aun á sospechar la utilidad práctica de tales observaciones. Así vemos que á partir de dicha época son cada vez más numerosos los geólogos que se consagran al estudio microscópico de los

carbones, preparando la labor actual, menos especulativa, de un carácter industrial más marcado.

A mediados del siglo XIX, Goeppert aportó numerosos datos al conocimiento exacto del carbón, aunque parece que no llegó á emplear preparaciones transparentes del mismo. Trató de determinar la clase de vegetales que contribuyeron á la formación de la hulla y llegó á establecer que uno de sus componentes, al que en mi folleto «Incendios y fuegos subterráneos» llamo *carbogenina*, está formado principalmente por restos de araucaria, y que el carbón propiamente dicho procede de la descomposición de troncos de estigmarias, sigillarias, lepidodendros y calamites, habiendo perdido su estructura en forma tal, que las únicas impresiones que el microscopio pone de manifiesto se deben á las cortezas de tales árboles. Las mismas observaciones permitieron establecer á Balfour que las sigillarías y stigmarias son las plantas que en mayor proporción contribuyeron á la formación del carbón, de cuya opinión no participaba Queckett, que sostuvo que tales árboles no se apreciaban en el carbón, al que consideró formado por restos de árboles semejantes á los pinos actuales.

Dawson dedujo que las coníferas estaban representadas por su corteza, por ser la parte más resistente. Huxley, en 1870, establecía que los esporos constituyen la parte predominante en el carbón, conclusión muy exagerada.

Reconocieron también la existencia de estos esporos numerosos investigadores entre los cuales figuran Williamson, Wethered, Bennie y Kingston que establece, de acuerdo con la conclusión de Hutton, que tales elementos abundan en la parte mate *(mateina)* y son menos frecuentes y aun llegan á faltar en la parte

brillante *(lustreina* y *vitreina)*. Así lo han confirmado los valiosísimos trabajos de Renault, los de Bertrand, y recientemente los de Jeffrey, Thiessen, Stopes, Wheeler, White, etc., y he tenido también ocasión de comprobarlo en los estudios que actualmente estoy llevando á cabo.

Haremos notar, sin embargo, que ha sido á Renault á quien se deben los trabajos más importantes sobre el origen del carbón; sus grandes conocimientos de botánica y bacteriología le permitieron llevar á cabo un estudio admirable, legándonos esa hermosa obra que publicó con el título *Sur quelques microorganismes des combustibles fossiles*, y que representa el fruto de veinticuatro años de trabajo sobre tema tan sugestivo. A él es á quien se debe el argumento decisivo en favor del origen vegetal del carbón, y, así como el análisis químico ha mostrado los lazos de unión de los diversos tipos de combustibles, los trabajos de Renault, á los que se concedió en un principio tan poca importancia, aun por aquellos que estaban más obligados, han puesto de manifiesto la comunidad de origen de los carbones, demostrando la presencia en los productos hullificados de una gran profusión de microorganismos cuyo papel ha sido evidentemente idéntico al del *Bacillus amylobacter* y tantos otros cuyo trabajo puede apreciarse en las turberas actuales. A más, las formas de estos microbios varían según las épocas, á semejanza de los demás grupos orgánicos naturales, pero la función realizada es siempre la misma.

Estos estudios, cuya importancia empieza ahora á apreciarse, llevaron á Renault á establecer su teoría sobre la formación del carbón, teoría en la que sólo se admite la influencia de los microorganismos en la hullificación. Pero Renault era más botánico que geólogo;

nada tiene, pues, de particular que prescindiese de las causas geológicas y llegase á la conclusión exagerada de que el estado final depende de la intensidad y duración del ataque, es decir, que el lignito será siempre lignito, á través de los tiempos geológicos, y lo mismo la hulla, antracita, etc.; ó sea, que la naturaleza del carbón depende sólo de la fase alcanzada por la fermentación; en una palabra, prescinde de todo fenómeno de metamorfismo.

Sin querer, nos vamos desviando del punto que estábamos examinando: razones que llevaron á pensar en el origen vegetal del carbón. Volviendo á él, diremos que Fayol, al hacer experiencias de sedimentación rápida, introdujo en unos cilindros piedras y fragmentos de vegetales y observó que sometiéndolos á una rotación continua no fueron precisas muchas horas para que se observase la aparición de partículas negras brillantes, como la hulla, y de unos lodos cargados de pequeños fragmentos carbonosos semejantes á las pizarras bituminosas.

Bergius y Specht han efectuado también numerosos experimentos para probar el origen vegetal del carbón y la posibilidad de obtener diversos productos finales derivados de un mismo material. Han tratado de obtener carbón partiendo de la celulosa, madera, turba, etc., sometiéndolos á temperaturas y presiones elevadas. Algunos de los resultados obtenidos aparecen consignados en el siguiente cuadro:

Material.	Temperatura.	Tiempo en horas.	CARBÓN PRODUCIDO			
			C	H	O	N
Turba seca..	—	—	52.4	41,4	5,50	0,7
—	250°	8	74,3	19,4	5,20	1,07
—	300	8	77,0	16,9	5,00	1,07
—	310	8	81,2	13.3	4.65	0,89
—	310	24	84.0	10.4	4 62	0.95
—	340	61	83,5	11.0	4.60	0,97

Dichos resultados demuestran que la proporción de carbono aumenta con la temperatura y la duración de la acción de ésta hasta un máximo de 84 por 100.

El producto final es sensiblemente el mismo cualquiera que sea la materia calentada á 310° durante sesenta y cuatro horas, ó á 340° durante ocho horas; es decir, que un aumento de temperatura de 30° determina una velocidad de reacción ocho veces mayor, y como $8 = 2^3$ un aumento de 10° duplicaría la velocidad de reacción. Esta temperatura de 10° sería la temperatura normal de la reacción química natural.

Partiendo de este dato, Bergius ha calculado en ocho millones de años el tiempo necesario para producir un carbón que contenga 87 por 100 de carbono, conclusión á la que había llegado también Potonié.

Tomando como primera materia la celulosa, llegó á obtener Bergius un carbón que contenía 85 por 100 de carbono y 5,2 por 100 de hidrógeno, escapándose algo de metano y ácido carbónico al abrir el cilindro en que efectuó la experiencia. El carbón obtenido era pulverulento, y, aunque su composición química era idéntica á la de muchos carbones, difería de ellos completamente desde el punto de vista físico. Sobre esta diferencia versó principalmente la discusión á

que dió lugar la comunicación de Bergius á la Sociedad de Química industrial de Londres, en la que se discutió casi exclusivamente si el producto obtenido y presentado por Bergius era realmente una hulla. Sin embargo, hubo que reconocer la importancia de tales trabajos y lo mucho que habían de influir en la solución del problema de la formación de la hulla. Que el carbón resultante era físicamente diferente del natural no debe extrañarnos, pues las condiciones de las experiencias difieren mucho de las que en la naturaleza rigen la producción del fenómeno; se prescinde de la fase bioquímica, y la dinamoquímica no tiene lugar en forma análoga á la natural; no intervienen en la reacción las rocas laterales, etc., y, sobre todo, se acelera un fenómeno que se caracteriza por su lentitud.

Posteriormente, las experiencias fueron repetidas por Billwiller, confirmando los resultados indicados.

A 340° obtuvo un carbón conteniendo 84 por 100 de carbono y 4,8 por 100 de hidrógeno, con pérdida de una molécula de ácido carbónico y algunas moléculas de agua. Hasta ahora, todos los experimentos se caracterizaban por ser muy pequeña la formación de metano, si se formaba alguno. Pues bien; en esta segunda serie de experimentos se pudieron obtener presiones de 5.000 atmósferas y temperaturas de 340° y entonces el gas recogido contenía:

Metano.....	70 á 80 por 100
Acido carbónico.....	8 á 15 —
Hidrógeno.....	10 á 20 —

en tanto que el gas obtenido en experiencias en que sólo intervenía la temperatura estaba prácticamente exento de grisú. Esto confirma también nuestro aserto: la introducción de un factor cuya concurrencia en el

fenómeno natural es evidente contribuye á acercar más á la realidad el resultado de las experiencias.

Aun cuando Bergius emitió también algunas ideas relativas á la transformación de la hulla en antracita dejamos su examen para más adelante.

Muchos más hechos podríamos citar como determinantes de que se pensase en el origen vegetal del carbón, pero el carácter de resumen que damos á este trabajo nos veda entrar en su exposición. Sin embargo, no podemos dejar de citar los notabilísimos estudios que actualmente está llevando á cabo M. Lomax, algunos de los cuales fueron comunicados en Abril del corriente año á la *Manchester Geological and Mining Society*. Estos trabajos vienen á ratificar los llevados á cabo por Rénault y á suministrar nuevas pruebas en favor del origen vegetal del carbón. Y, por hoy, hacemos punto, dejando para estudiar en el próximo artículo el fenómeno de la hullificación del carbón.

IV

Aunque el carbón deriva de los elementos que forman los restos vegetales, difiere, sin embargo, notablemente de la composición de éstos á causa de las modificaciones determinadas por el fenómeno de la hullificación y de las originadas por los procesos metamórficos á que la masa hullificada ha estado sometida á través de los tiempos geológicos.

A los componentes de los restos vegetales se habrán sumado también las substancias extrañas que las aguas y el viento han arrastrado á los lugares de deposición. A más, y tanto durante el período de hullificación como posteriormente, por las grietas y fisuras del carbón han circulado aguas meteóricas y aguas juveniles ó mag-

máticas procedentes éstas de zonas donde existan rocas ígneas; dichas aguas pueden incorporar al carbón nuevos elementos ó disolver una parte de los que contiene. Así se ha visto que en algunas regiones, en que la actividad volcánica ha sido manifiesta, el carbón contiene una gran variedad de compuestos minerales, algunos sumamente raros.

También puede contener el carbón restos de materia de origen animal aprisionados entre su masa, lo que puede determinar una variación en su composición, especialmente en las proporciones de nitrógeno y fósforo.

Ahora bien, independientemente de éstas substancias de origen extraño, el carbón se ha considerado durante mucho tiempo como derivado de la celulosa de los restos vegetales, á cuya substancia corresponde la fórmula $C_6H_{10}O_5$. Sin embargo, muchos investigadores han discutido si realmente es á la celulosa á la que conviene el calificativo de madre del carbón, pues teniendo en cuenta que la celulosa y lignocelulosa entran, según Clarke (1), en proporciones sensiblemente iguales en la composición de los vegetales y que la segunda es más resistente, no puede negarse su contribución á la formación del carbón. Dicha substancia, conocida también con el nombre de lignina, es un compuesto ternario, más rico en carbono é hidrógeno y más pobre de oxígeno que la celulosa; su composición parece responder á la fórmula $C_{12}H_{18}O_9$, relacionada con la de la celulosa por la igualdad

$$C_{12}H_{18}O_9 = 2\,(C_6H_{10}O_5) - H_2O.$$

---

(1) *The data of geochemistry*. U. S. Geol. Survey, Boletin 616, página 739.

De las fórmulas dadas para la celulosa y lignina se deduce la siguiente composición centesimal:

Celulosa.—	Carbono	44,44
	Hidrógeno	6,18
	Oxígeno	49,38
		100,00

Lignina. —	Carbono	47,06
	Hidrógeno	5,89
	Oxígeno	47,05
		100,00

en tanto que la composición media de los vegetales es

Carbono	49,50
Hidrógeno	6,25
Oxígeno	44,00

si bien esta composición media varía mucho según la mayor ó menor abundancia de resinas, gomas, etc., más ricos en carbono é hidrógeno que la celulosa y la lignina.

Mucho se ha discutido y se discute sobre cuál ha sido el componente vegetal al que corresponde desempeñar el papel más importante en la transformación de los vegetales en carbón. La idea más antigua y que sigue contando con mayor número de partidarios es la de la acción bacterial sobre la celulosa, que se transforma en turba, lignito, etc.

Rénault (1) llegó á establecer la igualdad siguiente para expresar el paso de la celulosa á carbón bituminoso:

$$\underset{\text{Celulosa}}{4\,(C_6H_{10}O_5)} = \underset{\text{Carbón bituminoso}}{C_9H_6O} + \underset{\text{Metano}}{7\,CH_4} + \underset{\text{Acido carbónico}}{8\,CO_2} + \underset{\text{Agua}}{3\,H_2O}$$

(1) Loc. cit. pág. 209.

y Parr's (1) formulaba del siguiente modo la transformación de la celulosa en lignito, ó en carbón bituminoso:

$$5\,(C_6H_{10}O_5) = C_{20}H_{22}O_4 + 3\,CH_4 + 8\,H_2O + 6\,CO_2 + CO$$

Celulosa — Lignito — Metano — Agua — Ac. carbónico — Oxido carbono

$$6\,(C_6H_{10}O_5) = C_{22}H_{29}O + 5\,CH_4 + 10\,H_2O + 8\,CO_2 + CO$$

Carbón bituminoso — Metano — Agua — Ac carbónico — Oxido carbono

Algunos autores formulan el lignito

$$C_{57}H_{56}O_{10}$$

y el carbón bituminoso

$$C_{54}H_{42}O_5$$

de modo que la transformación del primero en el segundo tendría lugar según la fórmula

$$C_{54}H_{42}O_5 = C_{57}H_{56}O_{16} - 3\,(H_2O + CO_2 + 2\,CH_4)$$

Fácil es comprender el valor muy relativo de estas fórmulas por la dificultad de encuadrar en ellas un fenómeno tan complejo como el de la hullificación, y si las citamos lo hacemos sólo á título de curiosidad.

Ya hemos indicado anteriormente que para muchos investigadores la celulosa es destruída por las bacterias y su desaparición es total, y, por tanto, que el carbón es el resultado de la transformación de la lignina en compuestos úlmicos á los que se suman las resinas, gomas, etc., que presentarán una mayor concentración á causa de la desaparición de la celulosa. Este punto de vista es defendido por investigadores tan concienzudos como Fischer y Schrader (2), que están llevando á cabo

(1) *Illinois Geol. Survey Bull.*, 8, 1906.
(2) *Brennstoff Chemie*, 1921.

una serie de investigaciones tan interesantes que no podemos substraernos al deseo de reseñarlas.

Fundan su teoría en el hecho siguiente, observado en 1919: durante la oxidación de la madera á presión, y en presencia de una disolución de sosa, el líquido toma un color parduzco y al acidificarlo se precipitan ulmatos; en cambio, y durante la oxidación de la celulosa en iguales condiciones, la disolución sólo tomaba un tinte amarillento y no daba precipitado alguno al adicionarle un ácido. A más, los compuestos úlmicos formados en el primer caso se oxidan fácil y rápidamente, es decir, que la lignina se conduce de un modo muy semejante al lignito y en la oxidación á presión de la lignina han obtenido, en general, los mismos ácidos aromáticos que con el carbón, resultados que concuerdan con los de los recientes experimentos de Erdmann y Schneider.

Aún realizaron Fischer y Schrader experimentos más concluyentes para demostrar la exactitud de su teoría. Estos experimentos consistieron en someter separadamente la lignina, celulosa, una mezcla de aquélla y ésta, serrín de madera de pino y sphagnum á la acción de las bacterias contenidas en un extracto acuoso de tierra de jardín incubado á 37°, apreciando la aparición de colonias de hongos, al cabo de

2 días en el sphagnum,
2 días en el serrín,
9 días en la celulosa,
19 días en la mezcla de celulosa y lignina,

y, en cambio, no se observó alteración alguna en la lignina, resultando el experimento bastante concluyente.

Pero aunque la evidencia de la teoría de Fischer y Schrader es cada vez mayor, sus detractores son aún muy numerosos: Wheeler, una de las mayores autori-

dades en la materia, no cesa de combatir tales puntos de vista, sosteniendo la antigua hipótesis; Klever establece también que los compuestos úlmicos derivan principalmente de la celulosa; y Jonas considera á dichos compuestos como mezcla de lignina y de una importante cantidad de humina (derivado de la celulosa y de sus productos de descomposición), lo que se aproxima ya más á la nueva teoría. Estas divergencias de criterio son causa de que se estén llevando á cabo una serie de interesantes investigaciones que cada vez arrojan más luz sobre punto aún tan obscuro.

Ahora bien; ya sea la celulosa ó la lignina el factor principal en la formación del carbón, diremos que, apartándonos de la teoría de Rénault, ya esbozada anteriormente, admitimos la existencia de dos fases en el período de hullificación, una primera bioquímica y una segunda dinamoquímica, que comprende también el período de lapidificación.

Cuando las plantas de un pantano ó marisma mueren y caen, ó se sedimentan los restos vegetales arrastrados por una corriente de agua, iníciase la fase bioquímica; los restos vegetales son atacados por bacterias y otros organismos inferiores, sufriendo una verdadera maceración. Si el ataque tiene lugar al aire libre, los restos vegetales se descomponen y desaparecen por putrefacción, quedando como residuo las cenizas; pero si la fase bioquímica tiene lugar al abrigo del aire, entonces se producen reacciones desconocidas hasta hace poco tiempo en la química mineral y que se caracterizan por un gran desprendimiento de gases, lo que ha motivado el nombre de fermentación, y por la formación de productos diversos.

Pues bien; Lemière, estudiando el paso de los vegetales á hulla, ha asemejado tal fenómeno á una fer-

mentación alcohólica: en ésta la diastasa de la cebada germinada y el agua transforman la fécula de las patatas, etc., en glucosa, y ésta, por la acción de la levadura de cerveza, que comenzando por desarrollarse como fermento aerobiano, termina como anerobiano en el mosto glucósico, es descompuesta en ésta última fase en alcohol etílico y ácido carbónico; cesando la fermentación cuando no existe más glucosa ó cuando el exceso de alcohol hace al medio antiséptico. De una manera semejante, en la fermentación que da origen á la hulla, la diastasa contenida en las diferentes partes de los vegetales ó segregada por los microbios, transforman á los hidratos de carbono en compuestos úlmicos, base de la hulla; los fermentos que se desarrollan y multiplican favorecidos por la maceración, llegan á descomponer á los hidratos, cuando el medio se hace anerobiano, en anhídrido carbónico, metano y compuestos carburados, cesando la fermentación cuando estos últimos hacen al medio antiséptico.

Ahora bien; la fermentación puede avanzar mucho, llegando á ser completa, ó ser detenida en algunos puntos por la ulmina producida por el ataque bacterial de otros fragmentos vegetales: entonces la ulmina, substancia insoluble y de reacción neutra, cuya fórmula es $C_{96} H_{28} O_{28}$, podría preservar restos cuya fermentación esté más ó menos avanzada, resultando, como consecuencia, que el producto final de la fase bioquímica no puede, no debe ser homogéneo, salvo circunstancias realmente excepcionales. Así sucede efectivamente, y puede decirse que no sólo la capa de carbón resultante, considerada en su totalidad, sino que el menor fragmento de ella carece de homogeneidad, tanto desde el punto de vista químico como considerado físicamente.

En unos puntos del depósito la fermentación tendrá lugar en presencia de poco oxígeno y los microorganismos vivirán á expensas del que pueden extraer de los hidratos formados en un principio: el resultado será la destrucción completa de los restos vegetales y la formación de una substancia gelatinosa, coloide. En otros puntos el agua más ó menos oxigenada puede nutrir á una parte de las bacterias, en tanto que otras descompondrán los hidratos de carbono, de modo que el producto final de la acción de este segundo grupo puede detener la fermentación de una parte más ó menos importante de los restos vegetales atacados por el primer grupo de bacterias; es decir, que al lado del producto final pueden encontrarse fragmentos vegetales más ó menos grandes que presenten una paralización de la acción bacterial y conserven, por tanto, su estructura. Puntos habrá en que el agua contenga oxígeno en cantidad suficiente para que las bacterias no tengan que alimentarse del que les podía proporcionar la descomposición de hidratos: el resultado será la desorganización completa de los restos vegetales, pero sin llegar al estado coloide final. Por último, también existirán restos vegetales cuya fermentación consista en una putrefacción incompleta al contacto del aire.

Como es natural, el producto final de cada uno de los cuatro procesos de fermentación debe ser distinto: ¿pueden distinguirse en el carbón cada uno de dichos cuatro componentes? La contestación es afirmativa; pero como la enumeración de los caracteres y propiedades de tales componentes habría de alargar mucho este artículo, la dejamos para el siguiente.

V

De los cuatro componentes del carbón á que aludimos en el artículo anterior, dos forman la parte brillante del mismo, y los otros dos constituyen la parte mate. Son los primeros los llamados *vitreína* y *lustreína* y los segundos la *mateína* y *carbogenina* ó *fuseína*, cuyas propiedades físicas y químicas son tan distintas.

El examen microscópico del carbón, tanto por transparencia como por reflexión, permite la diferenciación de dichos elementos, y otro tanto sucede, en general, cuando se examina macroscópicamente una capa ó un trozo de carbón. Caracterízanse: la fuseína, por su estructura fibrosa; la mateína, por su aspecto mate y textura granular; la lustreína, por su brillo y estructura laminar, concordante con la estratificación; y la vitreína, por su brillo y estructura compacta.

Examinados por transparencia, la fuseína es opaca, dependiendo esta opacidad de la dirección del haz luminoso; la mateína se nos presenta formada por una masa de granos ó fragmentos, redondeados ó poliédricos, negros y opacos en su mayoría, y se caracteriza por su opacidad interrumpida aquí y allá por la transparencia de los micro y macrosporos que puede y suele contener, y cuya orientación es concordante con la estratificación; la lustreína se caracteriza por su transparencia y aparecer constituída por bandas de esporos, resinas, restos vegetales más ó menos descompuestos pero en los que puede apreciarse su estructura celular, y á cuyos elementos, de desigual transparencia, vienen á sumarse á veces algunos gránulos y fragmentos opacos, que se consideran como impurezas; y, finalmente,

la vitreína se diferencia de los otros componentes por su transparencia y estructura vítrea, á cuyas propiedades debe su nombre, no revelando el microscopio la existencia de microfósiles vegetales; sólo, excepcionalmente, se ha podido reconocer algún microsporo aislado. Además, y cuando en un mismo ejemplar la vitreína acompaña á alguno de los otros componentes, la superficie de separación es clara y bien definida, un plano paralelo á la estratificación, en tanto que la de los otros elementos entre sí es muy irregular.

Veamos si también podemos diferenciarlos químicamente, si bien antes creo conveniente hacer una observación para justificar la gran importancia que concedo al estudio de tales componentes y que es consecuencia de mi deseo de hacer ver á mis lectores que si antes el origen vegetal del carbón derivaba al fin y al cabo de una presunción más ó menos conforme con la realidad, hoy se nos presenta tal idea cimentada sobre una sólida base experimental y científica. La lucha entre las teorías orgánica é inorgánica, se hace cada vez más difícil y hoy es recibida con la mayor indiferencia cualquier teoría en favor del origen mineral del carbón, cosa que no sucedería si al emitirla se empezase por desvirtuar el gran cúmulo de hechos científicos que corroboran el origen vegetal del mismo. Pero como la nueva orientación dada á los estudios del carbón data de este último quinquenio, sus resultados no han entrado todavía en la corriente general de nuestros conocimientos, siendo ésta la razón que nos ha movido á escribir este trabajo de divulgación y la causa de que concedamos más importancia á aquella parte que siendo hoy la más fundamental, no es, sin embargo, la más conocida.

Siguiendo, pues, con la diferenciación de los cuatro

componentes, indicaremos que Lessing (1) ha llevado á cabo numerosos ensayos de coquización habiendo obtenido resultados muy distintos, lo que justifica las diferencias existentes entre la carbogenina, mateína, vitreína y lustreína.

Si nos fijamos en la proporción de cenizas veremos que mientras la vitreína y lustreína contienen una pequeña proporción de materia inorgánica, de 1,1 á 1,3 por 100, la mateína llega á contener de 6 á 7 por 100 y la carbogenina puede alcanzar un 30 por 100. En el ensayo de una muestra de carbón, Lessing ha encontrado las proporciones de cenizas que indicamos á continuación:

Carbogenina	15,59	por 100.
Mateína	6 26	—
Lustreína	1,22	—
Vitreina	1,11	—

Pero no es sólo en la proporción de cenizas en lo que se diferencian los cuatro componentes, sino que la composición de las mismas es muy distinta. Así, en la muestra anterior se observó que la fracción de las cenizas soluble en ácido clorhídrico era de

12,05	por 100	en la	fuseína,
72,71	—	—	mateína,
16,90	—	—	lustreína, y
10,02	—	—	vitreína.

Tratadas con piridina dos muestras, una de vitreína y otra de mateína, se extrae de la primera un 34,4 por 100, aproximadamente, y de la segunda, sólo 21,6 por 100.

Conocida es también la propiedad que posee el carbón de absorber el oxígeno del aire. La proporción en

(1) *The behaviour of the constituents of banded bituminous coal on coking*, Trans. Chem. Soc., vol. 117, páginas 247-266.

que la oxidación tiene lugar, depende de la de los cuatro componentes, toda vez que los experimentos llevados á cabo por Wheeler (1), le han permitido establecer que la fuseína es la más fácil de oxidar á baja temperatura y que ya á una temperatura de 50° ocupa la vitreína el primer lugar, resultando así que la carbogenina, oxidándose rápidamente á baja temperatura, contribuye á elevar la de la masa y á hacer entrar en reacción á los otros tres elementos. Hagamos también notar la curiosa propiedad de la fuseína que arde sin llama, sin humo y desprendiendo sólo un ligero olor aromático, así como la de reducir la inflamabilidad del polvo de carbón, propiedad tan importante y de gran valor, desde el punto de vista de la seguridad de las labores en las minas de carbón.

Veamos ahora cuál ha sido la consecuencia de la diferenciación y estudio de los cuatro elementos.

Así como de los numerosos ensayos ya efectuados se deduce que la vitreína suministra un cok excelente, el mejor, se ha llegado ya á pensar en separar dicho componente cuando se trate de obtener un cok de calidad superior. ¿Será posible llevar á cabo dicha separación? ¿Habrá alguna propiedad física que aplicada en los talleres de preparación mecánica permita económicamente efectuar la necesaria concentración? En trabajos llevados á cabo recientemente se ha comprobado la existencia, no de una, sino de varias propiedades físicas que hacen posible tal separación, y, por consiguiente, convierten en coquizables carbones que de otro modo no lo serían.

Efectuando ensayos de flotación, y empleando diversos agentes, se ha logrado separar la carbogenina

(1) *The Colliery Guardian*, 17 de Junio de 1921.

del resto del carbón y la mateína de la lustreína y vitreína (1). Así es como Bury ha podido establecer (2) que cuando un carbón no coquiza á causa de la presencia de la fusína, separada ésta por flotación, se obtiene un producto susceptible de proporcionar un cok excelente. Fácil es comprender la importancia de este descubrimiento por la influencia que ha de tener en la preparación de los combustibles metalúrgicos.

El estudio de estos fenómenos de flotación diferencial ha permitido establecer á Chapman (3) que, mientras el carbón brillante es rico en grupos $C_n H_{2n+1}$, en el carbón mate predominan los hidrocarburos oxigenados, lo que viene en apoyo de nuestra idea, ó sea que la escasez de oxígeno asimilable en los componentes del carbón brillante contribuyó, en gran parte, á la muerte de las bacterias, en tanto que éstas pueden vivir á expensas del que les suministre la descomposición de los componentes del carbón mate, á no ser que en éstos domine la ulmina; es decir, que los primeros son un producto más avanzado de la fermentación de los restos vegetales.

Otra propiedad de que se ha tratado de sacar partido, para separar los cuatro elementos, es la diferente densidad de los mismos (4); pero el experimento de más interés ha sido el de Findley y Wigginton, dado á conocer en Junio de este año. Dichos investigadores han puesto de manifiesto el diferente modo de conducirse eléctricamente los cuatro componentes del car-

---

(1) Bury, Broadbridge y Hutchinson: *Trans. Inst. Min. Eng.*, 1921.

(2) *Iron and Coal Trades Review*, 6 Enero 1922

(3) Differential froth flotation applied to coal, *Fuel*, 1922, número 4, pág. 52.

(4) Lessing: *Trans. Inst. Min. Eng.*, 1921, vol 60, pág. 288, y volumen 61, pag 36.

Beet y Findley: *Trans. Inst. Min. Eng.*, 1921, vol. 60, pág. 213.

bón, pues mientras que las partículas de vitreína y lustreína son atraídas por una varilla de ebonita, previamente electrizada, las de mateína son repelidas. También han comprobado que la adherencia de la vitreína y lustreína á una superficie metálica pulimentada es mayor que la de la mateína, propiedad que puede utilizarse para la separación de dichos elementos.

Por último, y para no hacer interminable esta parte de nuestro trabajo, daremos también cuenta del estudio publicado por Haslam y Wheeler, en Marzo del corriente año, con el título de *Contact photographs of coal.* Tratando de ver si era aplicable al carbón el descubrimiento de Russell, obtuvieron fotografías de muestras de carbón, dejándolas en contacto con las películas de placas sensibles, en la obscuridad, y durante algunos días. El resultado fué comprobar que cada componente actuaba con intensidad diferente y observar que este procedimiento permite apreciar la existencia de ellos con más precisión que por cualquier otro método. En cuanto á la causa de dicha acción, parece ser debida principalmente á la existencia de compuestos γ.

Diferenciados perfectamente los cuatro componentes del carbón, y comprobada la variabilidad de la proporción de ellos en la masa resultante de la hullificación, bastaría este solo hecho para justificar, aun prescindiendo del proceso dinamoquímico, la diversidad de tipos de carbones que pueden derivarse de una misma materia inicial.

Antiguamente, y cuando empezó á sospecharse el origen vegetal del carbón, explicábase la gran diversidad de clases de combustibles, admitiendo que ello derivaba de las diferentes especies vegetales que podrían haber integrado los aluviones. Después, y como

aún esta explicación no bastaba, se recurrió á los fenómenos de metamorfismo: se abarcaba el fenómeno de la formación del carbón en conjunto, se estudiaban las capas sin descender al detalle de las partes que lo integran.

Estudios más recientes han puesto de manifiesto la escasa influencia de los géneros de vegetales que forman los aluviones en la naturaleza del carbón resultante. En efecto, todos los vegetales están formados por diferentes tejidos y su morfología externa depende de la importancia de cada uno, de su forma y posición con respecto á los otros, y dicha morfología externa en la que nos apoyamos para diferenciarlos, es la base de la clasificación de los vegetales. Pero como cada tejido está constituído por el mismo tipo de célu'as vegetales, por la misma materia fundamental, el análisis químico más delicado no puede sino revelar pequeñísimas diferencias de composición, insuficientes para explicar la gran variedad de carbones. Y para justificar nuestro aserto, á continuación damos algunos resultados de los análisis efectuados por Gottlieb:

Madera.	Ceniza.	C.	H.	N.	Calorías.
Roble.....	0,37	50 16	6,03	—	4.620
Fresno.....	0,57	49 18	6,27	—	4.711
Haya.....	0,57	49 06	6,11	00,9	4.770
Abedul.....	0,29	48.88	6,06	01,0	4.771
Abeto.....	0,28	50.36	5,29	00,5	5.035
Pino.....	0,27	50 31	6,20	00,4	5.085
Celulosa.....	—	44.40	6,20	—	4.146

La misma conclusion se deduce de los análisis efectuados por Hawes (1), cuyos resultados fueron:

(1) HAWES: *On the cheminal composition ef the wood of aerogens*. Amer. Jour. Sci., vol 7, pág. 585.

Plantas,	C.	H.	O.	N.	Cenizas
Licopodium dendroideum....	47.11	6.39	41.85	1,40	3.25
Lycopodium complanatum...	45,78	6 25	40,66	1,84	5,47
Equisetum hyemale.....	41 94	5.89	39.23	1,12	11,82
Asidium marginale.....	44,77	5,99	41 97	2,08	5,19
Cyathea caniculata (ucleo)..	45,39	6,11	38,82	1,12	7.56
Idem íd. (corteza)..	48 72	4.89	38,48	1,42	6,49

Es más: los análisis que Carnot realizó de carbones derivados de diferentes vegetales del carbonífero, sólo acusaron pequeñas diferencias en los procedentes de restos de *lepidodendron, cordaites* y *phychopteris*, diferencias que sólo fueron de 2,66 por 100 para el carbono y de 0,03 por 100 para el hidrógeno. Y conste que la selección de los restos vegetales fósiles fué efectuada por Rénault, el mejor botánico de su tiempo.

Podemos, pues, concluir que los diferentes géneros de plantas no determinan diferencias apreciables en el carbón resultante, y, por consiguiente, que no tiene valor científico alguno la teoría que supone que la antracita es el resultado de la hullificación de restos vegetales pertenecientes á géneros distintos de los que han contribuido á la formación del carbón graso.

Tampoco es posible atribuir á diferencias climatológicas las varias composiciones que presentan los carbones; primero, porque los restos vegetales han tenido que ser preservados por un manto de agua, y, segundo, porque hoy mismo no pueden apreciarse diferencias muy marcadas entre las turbas de climas muy distintos.

En cambio, lo que está plenamente demostrado es que diferentes elementos de los vegetales, tales como esporos y resinas, los últimos de los cuales pueden contener más de 80 por 100 de carbono, influyen grande-

mente en la composición de los carbones resultantes cuando la acumulación de tales restos puede tener lugar en proporciones de importancia. Y como uno de los caracteres distintivos de los cuatro componentes del carbón lo determina la mayor ó menor abundancia de esporos y resinas, y dichos componentes presentan propiedades tan distintas, puede concluirse que las diferentes propiedades de los carbones son motivadas por las proporciones de carbogenina, mateína, lustreína y vitreína que entran á formarlos, es decir, por la importancia relativa de los distintos procesos de fermentación. Claro es que en todo lo que precede hemos prescindido de la fase dinamoquímica, susceptible de determinar nuevas diferenciaciones ó acentuar las existentes, según veremos más adelante.

Así, y dentro de la fase bioquímica, el solo hecho de que los restos vegetales, antes de ser cubiertos por el manto protector de agua, hayan estado expuestos al aire un tiempo diferente, origina cambios muy intensos, como lo confirman los siguientes experimentos llevados á cabo por Fayol: mientras que la corteza del roble contiene 29,65 por 100 de carbono y la madera sana de 21,95 á 22,82 por 100, ésta misma, ligeramente descompuesta, contiene 24.75, más descompuesta llega á 27,60 y muy podrida á 31 por 100, es decir, que se observa una concentración de carbono y una reducción en las proporciones de oxígeno á hidrógeno. Concuerdan dichos resultados con nuestra hipótesis de que los componentes mates del carbón proceden de restos que han sufrido un principio de descomposición al aire, y así se deduce también del análisis, efectuado por Pollard, de un carbón del País de Gales, cuya parte brillante contenía 63,96 por 100 de carbono contra 77,17 por 100 que suministró la parte mate. Por tanto, la du-

ración de la exposición al aire de los restos vegetales, antes de la hullificación propiamente dicha, puede influir bastante en la naturaleza del producto resultante.

Y para terminar con el estudio de la fase bioquímica, expondremos en el artículo siguiente nuestra idea sobre el proceso de la fermentación de los restos vegetales y algunos hechos que vienen á corroborar nuestras conclusiones y á desvirtuar los argumentos de los que consideran la teoría de la fermentación como una explicación caprichosa, difícil de sostener, y nacida de la imposibilidad de justificar de otro modo la transformación de los restos vegetales en carbón.

VI

Aun cuando ya hemos indicado algo sobre el proceso de formación del carbón partiendo de la fermentación de los restos vegetales, vamos á insistir en ese estudio, ya que lo que más trabajo cuesta comprender es cómo organismos inferiores, el último término en la escala de la vida, pueden haber originado un fenómeno tan grandioso como el que supone habernos dejado esas reservas de energía base de la industria mundial.

Que los restos vegetales que han formado los aluviones han sido atacados por bacterias está fuera de toda duda después de los trabajos de Rénault, aún poco conocidos á pesar de su relativa antigüedad. Su obra, por lo mismo que fué muy envidiada por todos sus contemporáneos, no fué suficientemente divulgada, y acaso sólo se citan trozos sueltos que más que darle valor se lo restan. Así es frecuente que el nombre de Rénault sólo figure al lado de la reacción que dan todos los autores para explicar el paso de la celulosa á carbón

bituminoso; y como el valor científico actual de esta fórmula es casi nulo, se llega á juzgar del mismo modo la inmensa obra de aquel gran botánico. Como en la de todos los sabios, hay en la obra de Rénault una parte fundamental, la fermentación bacteriana, y otra que, aunque derivada de los conocimientos de su época, en que la bacteriología y la química de los coloides estaban aún en embrión, no está en armonía con los conocimientos actuales, pero ha sido una buena base para alcanzar éstos.

Hasta Rénault sólo podía citarse en favor del origen vegetal del carbón la presencia de numerosos fósiles vegetales; pero ¿cómo explicar la hullificación de éstos? Se consideraba que la turba y la hulla tenían un mismo origen; se hablaba de una maceración previa de los restos, y hasta de una fermentación, pero no se podían aducir pruebas concluyentes. Rénault pensó en buscarlas, y, al efecto, empezó el estudio de los carbones y maderas fósiles, y sirviéndose del microscopio y de los mayores aumentos, logró descubrir é identificar esos organismos inferiores que constituyen la prueba más palpable de la fermentación hullera. Para muchos, para mí entre ellos, sólo se había justificado la intervención del *Micrococcus carbo* que ha gozado, por decirlo así, de las simpatías de los que citan los trabajos á que aludimos. Basta hojear la obra de Rénault para darse cuenta del gran número de organismos microscópicos que han sido reconocidos y de cómo las paredes de las células vegetales aparecen ensanchadas á causa del trabajo de aquéllos que á veces se nos presentan formando importantes colonias. Las resinas, las cutículas de los esporos y granos de polen, etc., que han resistido á su acción se conservan en la masa del carbón, y hoy desempeñan el papel de

fósiles microscópicos, capaces de caracterizar por sí solos una capa de hulla. En esto último estriba, principalmente, el valor industrial de los estudios del carbón al microscopio, utilidad que Rénault no pudo siquiera sospechar, lo que no tiene nada de particular, ya que el fin que perseguía con sus estudios era probar la fermentación de los restos vegetales, fase primera del proceso de hullificación, y dicho fin fué logrado. Una sola objeción podía hacerse, no á los trabajos de Rénault, sino á los conclusiones que de ellos deduce, y es la de que las bacterias por él reconocidas podían preexistir en los vegetales antes de su hullificación. A esta objeción se puede responder que si las bacterias formaban parte integrante de los vegetales antes de tener lugar sus acumulaciones, deberían de haber sufrido una reducción de volumen semejante á la que nos presentan aquellos, y esto no es así, lo que nos prueba que éstas actuaron sobre los vegetales después de sufrir alguna modificación, la de la maceración, que precisamente es el verdadero punto de partida de la acción microbiana.

Las demás objeciones que podrían hacerse á la teoría de la fermentación derivan acaso del insuficiente conocimiento que de la bacteriología tenemos los que, dedicados al estudio de objetos mucho más amplios, despreciamos indebidamente esos seres inferiores cuyos esfuerzos sumados dieron lugar á fenómeno de tal importancia como el de la hullificación de los restos vegetales. Por otra parte, la generalidad de los conocimientos de bacteriología son posteriores á las clásicas teorías de la formación del carbón.

Así, por ejemplo, hasta hace poco se creía erróneamente que la fermentación de los restos vegetales terminaba á una profundidad muy pequeña, y ya se ha

demostrado por Thiessen y White (1) que los microbios anerobios pueden ser encontrados en las turberas actuales aun á profundidades de nueve metros. Nosotros creemos que como tales microbios no necesitan del aire para vivir, su acción puede extenderse á cualquier profundidad con tal de que la temperatura ó la producción de substancias antisépticas no determinen su muerte. Además, todos los autores no hacen intervenir en la fermentación sino á microorganismos vivos y prescinden del papel que pueden haber jugado las enzimas, al que damos nosotros la mayor importancia ya que después del notable descubrimiento de Büchner, de principios de este siglo, se ha visto que la acción de los fermentos, más que al fenómeno biológico de la vida de aquellos organismos, es debida á las enzimas que pueden producir.

Se ha comprobado que el fermento se puede matar fácilmente en un baño de alcohol y éter y que, sin embargo, las enzimas se mantienen igualmente activas, resisten mejor y á veces completamente á la acción de los antisépticos que matan á los fermentos. Merced á ellas la fermentación pudo extenderse á mayores profundidades aun en presencia de compuestos úlmicos, que si son antisépticos respecto de los microbios, pueden no serlo de las enzimas. Precisamente, para nosotros existe una estrecha relación entre la proporción de éstas y el fenómeno de la oxidación del carbón; y ésta correspondencia se halla en armonía con muchos hechos observados y cuya explicación es difícil de otro modo ó, cuando menos, sería sumamente artificiosa. Se ha observado, por ejemplo, que la oxidación decrece en intensidad á medida que se asciende en la serie lignito-

(1) *Brennstoff Chemie*, 1921, 2,40.

antracita; lo mismo debe suceder con la proporción de enzimas, que, aunque más resistentes que los fermentos, son destruídos en su mayor parte á la temperatura de ebullición del agua. Es decir, que para nosotros los carbones contienen oxidasas y por esto tan pronto como se ponen en contacto con el aire comienza la oxidación, pero la acción de las oxidasas no determinaría la combustión espontánea, puesto que su destrucción tendría lugar antes que el carbón alcanzase la temperatura crítica; en cambio, la elevación de temperatura inicial por ellas determinada, puede hacer entrar en reacción compuestos oxidables existentes en el carbón y que sin dicha ayuda acaso hubiesen permanecido inactivos. Ejemplo: el ya citado de la vitreína y lustreína que se hacen los más oxidables á la temperatura de 65° á que puede conducir la presencia de la fuseína, muy oxidable á baja temperatura.

Potter atribuye la oxidación del carbón á la acción bacteriana, y Galle ha efectuado un estudio interesantísimo de diferentes carbones colocados en medios aerobianos y anerobianos, llegando á descubrir siete géneros diferentes de bacilos, é identificado tres de ellos, que se desarrollan á la temperatura normal y sin aire. Estas bacterias, al actuar sobre el carbón, producen un gas que contiene de 5 á 27 por 100 de ácido carbónico, 71 á 85 por 100 de metano y pequeñas cantidades de óxido de carbono. Dichos experimentos han permitido establecer que, dada la pequeña elevación de temperatura determinada por la acción bacteriana, no puede atribuirse á ella, y como única causa, la combustión espontánea; y se ha comprobado que los carbones que han sufrido tal acción se inflaman á menor temperatura que la observada cuando el carbón no ha estado sometido á ella. Atribuímos nosotros ésta mayor

facilidad de oxidación á las oxidasas que ha originado la fermentación del carbón.

Teniendo en cuenta las enzimas es como se puede rebatir la conclusión á que llega M. Godchot en el trabajo presentado á la Academia de Ciencias de París, afirmando que un carbón, aun tratado con piridina, se oxida espontáneamente, y que, por tanto, como la piridina es un antiséptico, no puede atribuirse la autooxidación del carbón á una acción bacteriana. Recordemos lo ya apuntado: que los antisépticos matan las bacterias y pueden no destruir las enzimas por ellas producidas.

Ahora bien; ¿contiene el carbón oxidasas ó enzimas que actuando como catalizadores determinen su oxidación? Si las contuviese sería una prueba concluyente de la fermentación que constituye la fase bioquímica y se tendría la clave para explicar muchos fenómenos, cuya causa determinante ignoramos, entre ellos el de los desprendimientos bruscos de grisú. Es una cuestión sumamente interesante, y como requiere un estudio minucioso, hemos de aplazarla para cuando hayamos dado cima á los estudios microscópicos que estamos haciendo.

Finalmente, y para los que consideran la fermentación como una hipótesis artificiosa para explicar el origen del carbón, citaremos unos cuantos descubrimientos muy interesantes, empezando por copiar el siguiente párrafo de Jungano y Distaso (1): «Se debe tener en cuenta que no sólo la substancia orgánica es desdoblada por los anerobios, sino que también en el reino mineral éstos últimos juegan un papel importante.»

---

(1) *Les anérobies*, pág. 20.

Así, por ejemplo, Beijerinck descubrió el espirilo desulfatizante capaz de transformar un sulfato en sulfito; Winogradsky había señalado ya en 1883 un grupo de bacterias que reducían el hidrógeno sulfurado, capaces también de oxidar el azufre en ácido sulfúrico; Boulanger, Demolon y Lippmann demostraron que la oxidación del azufre del suelo es debido á las bacterias; Lippmann describió no ha mucho un procedimiento para hacer soluble el fosfato tricálcico de cal mezclándolo con azufre é inoculando la mezcla con bacterias oxidantes, y finalmente, Hebbronner y Rudolf (1) han presentado á la Academia de Ciencias de París un trabajo interesantísimo que inaugura una nueva rama de la preparación mecánica en la que se utiliza el cambio de propiedades que en un cuerpo puede determinar su ataque por un grupo de bacterias, ya que dichos investigadores han podido establecer:

1.° Que ciertas bacterias convierten la blenda en sulfato de zinc; 2.°, que el zinc solubilizado no impide la acción ulterior de las bacterias; 3.°, que la presencia del azufre favorece la oxidación; 4.°, que las bacterias de Lippmann producen cantidad suficiente de ácido sulfúrico para hacer solubles los silicatos y el carbonato natural de zinc, y 5.°, que en los minerales de zinc y plomo el zinc es transformado en un compuesto soluble y el plomo no, lo que suministra un método de separación de los dos metales.

Con todo lo expuesto creemos haber insistido suficientemente en el estudio de la fase bioquímica de la hullificación, por lo que ya en el artículo siguiente iniciaremos el de la fase dinamoquímica.

---

(1) *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 22, Mayo, 1922.

VII

En los artículos anteriores hemos tratado de probar el origen vegetal de la generalidad de los carbones, al menos de los que integran las cuencas verdaderamente industriales. Nos hemos detenido, acaso excesivamente, en el estudio de la fase bioquímica, cuyo resultado es transformar los vegetales que formaron los aluviones, en la teoría del arrastre, y las acumulaciones en las capas autóctonas en una masa más ó menos esponjosa. ¿Qué transformaciones ha sufrido después esta masa para que adquiriendo consistencia llegue á presentársenos en su forma actual de roca más ó menos friable?

Sencillamente, los detritus hulleros no podían constituir una excepción dentro de los fenómenos geológicos, y, por consiguiente, quedaron sujetos á la acción de sus agentes, susceptibles de determinar modificaciones estructurales, físicas y químicas. Sería verdaderamente admirable que á la mutabilidad que caracteriza á todo cuanto presenciamos en la Naturaleza, y que está también de acuerdo con lo que nos revela el estudio de la Geología, escapara este ínfimo espesor de la corteza terrestre. Es por esto por lo que desde un principio nos declaramos en franca oposición de las ideas de Rénault, sobre este punto. Para él el lignito es y será siempre lignito, y la turba, turba; para nosotros el lignito dejará de ser lignito cuando esté sujeto á causas que modifiquen su composición. Precisamente los combustibles se caracterizan por su inestabilidad, y buena prueba de ello es, que espontáneamente se modifican profundamente todas sus propiedades; es justamente dicha inestabilidad la razón principal de su fácil empleo y la que obliga á adoptar precauciones especiales,

uo sólo durante su explotación, sino también durante su transporte y almacenaje.

Fijémonos en lo que pasa en una turbera; en ella vemos que á medida que se profundiza, la compacidad de la turba aumenta. Al mismo tiempo que su densidad, cambian sus restantes propiedades físicas, al par que sufre también modificaciones en sus propiedades químicas: la turba está tanto más hecha cuanto más profunda, ó sea cuanto más vieja (1). La generalización de esta idea ha llevado al error de que la antracita es el combustible más antiguo, lo que sería exacto si no existiesen las causas geológicas que vamos á estudiar y que pueden determinar el envejecimiento prematuro de cuanto está sujeto á su acción.

Cuando empecé á estudiar algo sobre carbones, hace ya sus buenos trece años, uno de los primeros trabajos que leí fué el de Rérault; á pesar de sus conclusiones, aún me atreví á escribir en unión de mi querido y admirado compañero Sr. Cabrera: «La teoría de la fermentación nos sirve al mismo tiempo para explicarnos la formación de las diferentes clases de hullas dentro de una misma época con sólo variar la duración de la fase anerobiana ó la presentación de la antiséptica. De esto puede deducirse que tanto la turba como la hulla permanecen siempre como tales combustibles, sin que la primera llegue á transformarse en hulla ni

(1) Podríamos citar algunas excepciones á esta regla general; ya en nuestro artículo I decíamos que la Naturaleza se complace en despistarnos y esto mismo y al estudiar cuestiones que tienen muchos puntos de contacto con las que estamos tratando, ha sido expresado por Mr. Witaker en las reuniones de la British Association (6 á 13 de Septiembre), en forma mucho más elegante al hacer notar que la Naturaleza suele producir un mismo efecto por dos caminos diferentes, y esta falta de uniformidad hace que sea mayor el interés puesto por los geólogos en sus investigaciones.

ésta en antracita, conclusión demostrada por la observación desde el momento que existen lignitos de la edad primaria y hullas de la secundaria y aun terciaria. Claro es que esto no excluye la destilación natural de los combustibles en determinadas condiciones de presión y temperatura, lo cual hace que pasen de una clase á otra, es decir, que una hulla seca puede dar origen á la antracita» (1), lo que está muy en armonía con lo que hoy sostenemos.

Por otra parte, y durante el ejercicio de mi profesión, me he afirmado más si cabe en mis ideas por las observaciones que he tenido ocasión de hacer. A veces el menor accidente estratigráfico determinaba un cambio notable en las propiedades del carbón de una misma capa. Una pequeña falla ha sido, en algunos casos, suficiente para determinar una notable reducción de las materias volátiles del carbón que se venía explotando ¡Cuántas veces, y aun explotando una sola capa, habréis indicado exactamente, al ver volcar un vagón en las cribas, el sitio de que procede!

Hecho este pequeño preámbulo, iniciemos el estudio de cuantos agentes geológicos intervienen en la que hemos llamado fase dinamoquímica. Y ante todo recabemos para esta fase la atención que se merece: para nosotros, su importancia es comparable á la de la fase bioquímica, pues si los combustibles presentan hoy un valor industrial, débese á aquella fase tanto como á ésta. Basta un poco de atención para comprender que así como los restos vegetales debieron ser convenientemente protegidos, para que la acción bacteriana pudiese tener lugar, nada utilizable nos habria legado tal

(1) Sánchez Arboledas y Cabrera Felipe: «Visita á algunos establecimientos mineros y siderárgicos del Norte de España», página 18.

acción si los productos de ella no hubiesen sido á su vez preservados por la capa protectora constituída por otros sedimentos. Sin éstos, y á semejanza de lo que ocurre en los afloramientos de las capas, *el carbón se habría disipado*, frase gráfica muy usada por nuestros mineros. Sentado esto, empecemos nuestro estudio examirando primeramente la influencia del factor tiempo.

Sin incurrir en el error que supone el atribuir la diferenciación de los carbones al tiempo transcurrido desde la deposición de los restos vegetales que constituyen su punto de partida, es decir, sin que lleguemos á considerar la antracita como el combustible más antiguo y el lignito como el más joven, sí estableceremos que, hasta cierto punto, esto es exacto, porque *á igualdad de condiciones* los carbones más antiguos serían evidentemente los más elevados en la serie turba antracita, ya que los procesos metamórficos han podido actuar sobre ellos durante un tiempo mayor. Pero como ésta uniformidad de condiciones no ha existido, se comprende que mientras en algunos países, en Australia, por ejemplo, se ha comprobado la presencia de lignitos en el carbonífero, en otros, como en el Canadá, los carbones cretáceos y terciarios, lignitos en su mayoría, aparecen en algunos puntos tan modificados que pasan á verdaderas antracitas.

Intimamente ligada á la edad de los carbones se nos presenta otra cuestión, la del tiempo requerido para la hullificación de los restos vegetales. Ya hemos tocado anteriormente este punto y hasta indicamos que la formación de una capa de carbón de un metro de potencia requería mil años. No obstante, creemos llegado el momento de aducir algunas pruebas más de que la hullificación no es tan lenta como se supone de ordinario.

Una primera prueba nos la proporcionan los trozos de carbón que en algunas cuencas son encontrados en los estratos que forman los hastiales de las capas. Explícese, en un principio, la presencia de dichos fragmentos admitiendo que eran trozos de vegetales hullificados después de su deposición y aterramiento, pero poco á poco se va abandonando esta hipótesis desde el momento en que no se observan en dichos trozos las deformaciones que racionalmente habrían de presentar si se tratase de restos hullificados *in situ*. Hoy se admite que los tales trozos son fragmentos procedentes de una capa inferior, rápidamente hullificada, y que la erosión de la misma ha dejado en libertad y en condiciones de ser arrastrados. A veces dichos fragmentos pueden aparecer intercalados en una capa de carbón contemporánea de ellos y su presencia se explica perfectamente admitiendo su arrastre desde los bordes del depósito á regiones más profundas del mismo, todavía en período de formación. Y es de notar que tales fragmentos suelen presentar una notable diferencia respecto de la hulla que forma la capa, hecho aducido por Rénault en favor de su teoría de que los vegetales una vez que han alcanzado un cierto grado de hullificación, si son substraídos á la acción de las causas que la han producido, permanecen inalterables aunque se encuentren sometidos de nuevo á la influencia de las mismas. Nosotros justificamos las diferencias de hullificación entre los trozos esporádicos de carbón y la capa que los envuelve, teniendo en cuenta la fusinización parcial sufrida por los primeros ó simplemente el cambio de propiedades que la erosión y el arrastre han debido producir y nos afirma aún más en nuestra creencia la falta de uniformidad que según hemos indicado anteriormente presenta no sólo la capa considerada en su-

conjunto, sino la menor porción de ella. ¿Qué razón, teniendo en cuenta la conclusión anterior, podríamos invocar en favor de la uniformidad de composición de la capa y del trozo que encierre?

Otro ejemplo de la rapidez con que tiene lugar el paso de los vegetales á turba nos lo suministra el hallazgo en una turbera, en 1817, del esqueleto de un hombre cuyas ropas estaban conservadas tan perfectamente que pudo fijarse, con la mayor garantía de acierto, en mil años el tiempo transcurrido desde que el hombre quedó sepultado en la turba: al descubrir el esqueleto se encontraba á 3,30 metros de la superficie de la turbera. Bien conocido es también el hecho de haber sido encontrados en algunos turbales pilotes establecidos por los romanos para facilitar el paso de los mismos.

Por último, de un trabajo publicado por Moffat (1) tomamos el siguiente ejemplo de la rápida hullificación de una madera de mina: en una explotación próxima á Scranton, Pensilvania, quedó abandonado un puntal de mina rodeado de escombros y sometido durante treinta años á la presión del techo y á la elevada temperatura producida por un fuego subterráneo. Al cabo de dicho tiempo cada una de las partes del puntal presentaba un grado distinto de alteración: la inferior se había conservado perfectamente en su estado primitivo, la porción central había sido carbonizada en su zona externa y sobre esta parte el puntal se presentaba transformado en un carbón muy quebradizo. Por último, la cabeza del puntal que había sufrido una compresión mayor y estaba muy hendida, se encontró pro-

(1) Note on the formation of coal from mine timber, Trans. Amer. Inst. Min. Eng., vol. 15, pág. 819.

fundamente alterada: su fractura era concoidal, su color negro, brillante, y su densidad se elevaba á 1,38. Ardía con una llama pequeña y el resultado de su análisis fué:

Humedad á 100º	5,65
Materias volátiles	43,05
Carbono fijo	51,00
Cenizas	0,30

Por otra parte, su aspecto era completamente distinto al del carbón vegetal.

Experiencias efectuadas por Daubrée y Frémie y las de Bergius ya citadas, nos prueban cómo la temperatura combinada con la presión determinan la rápida hullificación de los materiales de naturaleza leñosa. Todo ello nos permite establecer que el paso de los vegetales á hulla es muy rápido, *geológicamente hablando.*

Resulta, pues, que, lógicamente pensando, los carbones más antiguos son los más antracitosos, salvo cuando concurren circunstancias especiales que determinan un envejecimiento prematuro ó una larga juventud de los carbones á ellas sometidos. Y que estas circunstancias se dan con mucha frecuencia, lo revelan numerosas excepciones á la regla general, algunas de las cuales ya hemos citado y otras serán objeto de estudio en el artículo siguiente.

VIII

De cuanto se ha expuesto en el artículo anterior se deduce que, en una misma cuenca, el grado de antracitación de las capas debe ser tanto más elevado, cuanto mayor sea la profundidad á que se encuentran. Esta conclusión, conocida con el nombre de *ley de Hill*, aun-

que confirmada por la observación en la generalidad de los casos, no es rigurosamente exacta, como lo ha demostrado el estudio de la cuenca de Commentry. Otro tanto ha sucedido en la cuenca del Sur de Gales, en la que como hacen notar Straham y Pollard (1) el espesor del recubrimiento de las capas de carbón graso es mucho mayor que el de las de antracita, lo cual no obsta para que limitándonos á la zona de las antracitas resulte de carácter casi general la conclusión de Becke y Joseph, de que las capas inferiores son más antracitosas que las superiores. White señala que de veinte casos por él estudiados sólo en uno se ha observado un pequeño aumento de la proporción de materias volátiles; en dos no se apreció ninguna variación y en los restantes se observó una pérdida de 0,6 por 100 de materias volátiles por cada 30 metros de profundidad, y en América, de 34 casos, se ha observado en 29 un decrecimiento medio de 0,38 por 100 de materias volátiles por cada 30 metros de profundidad.

Gracht establece que en Helenaveen el decrecimiento de materias volátiles es de 0,53; en Helden, de 0,8; en Baarlo, de 0,62, y en Westfalia, de 0,51 para los carbones de gas y 0,71 para los de cok por cada 30 metros de aumento de la profundidad.

Resulta, por tanto, que si al profundizar un pozo se cortan varias capas, se encontrarán hullas cada vez menos grasas, circunstancia muy digna de tenerse en cuenta, pues revela la poca importancia que debe darse á los certificados de procedencia que tanto se prodigan para garantizar la calidad de los carbones.

Análogamente, en la serie hullera belga, que alcan-

---

(1) *The coals of South Wales with special reference to the origin and distribution of anthracite.*

za 3.000 metros de espesor, se observa, según Haug, que la hulla magra y antracitosa se halla en la parte inferior, y las capas van enriqueciéndose en hidrocarburos á medida que ascienden en la serie, enriquecimiento también comprobado, según se ha indicado, en la orilla derecha del Rhin, en los depósitos westfalienses. Sin embargo, no debe darse al grado de antracitación de Strahan, es decir, á la relación $\frac{\text{carbono}}{\text{hidrógeno}}$, un carácter tan general que pueda motivar errores de gran importancia cuando de él se trate de deducir, á falta de otros datos, la edad del tramo que comprenda una capa; el examen del cuadro con que terminábamos nuestro artículo segundo nos convencerá de ello. Gruner recuerda también á este propósito que las hullas de Escocia son secas de llama larga, aunque pertenecen á la formación hullera inferior, y, en cambio, podemos citar las hullas de Tineo y Tormaleo, en Asturias, que son verdaderas antracitas, á pesar de pertenecer á los tramos hulleros más altos de la serie, y lo mismo acontece en la mayor parte de los manchones carboníferos de León (1).

Pero no es sólo con la profundidad con lo que varía el grado de antracitación, sino que éste está íntimamente ligado al plegamiento sufrido por los estratos, y es así como dentro de la misma capa el carbón presenta cambios notables en su composición. En Asturias, como hizo ya notar el sabio maestro D. Luis Adaro, según se marcha de Norte á Sur se encuentran sobre las mismas zonas estratigráficas, y aun sobre las mismas capas, hullas lignitosas en Arnao y Ferroñes, secas en Siero, semigrasas de gas en Langreo, grasas

(1) Adaro: *Los carbones nacionales y la marina de guerra*, pág. 128.

de cok y fragua en Mieres y Turón, magras en Aller y Quirós, antracitosas en Aller y Lena y verdaderas antracitas en Campomanes, Pajares y Tineo. Por considerarlo muy instructivo, tomamos de la obra ya citada del Sr. Adaro no sólo el cuadro siguiente, sino también los comentarios que sobre los resultados consignados en él hizo este geólogo.

Procedencia.	Materias volátiles.	Característica.	Clasificación.
Lieres.....	45,50	82,50	Hulla lignitosa.
Llovera (Siero).....	41,15	70,00	Id. seca.
San Martín del Rey..	38,80	63,40	Semigrasa de gas.
Santa Bárbara.....	32,35	47,80	Id. gas, cok, fragua.
Pico Luvio.....	28,57	40,00	Grasa de gas y fragua.
Longalendo Turón...	24,60	32,70	Id. de fragua y cok.
Boó-Aller.....	22,65	29,67	Semigrasa de cok.
Boratambio-Idem....	17,71	21,52	Id. de vapor.
Bárcena-Lena.....	14,46	16,90	Magra de vapor.
Nembra-Aller.....	10,69	11,97	Antracitosa de vapor
Cordal de Pajares...	7,02	7,55	Id. negra, brillante.
Cordal de Murias....	4,50	4,74	Id. gris, irisante.

«En ese cuadro aparecen, de arriba abajo: todos los términos de la serie hullera, desde el combustible cuya característica se acerca á 90 por 100, divisoria de los lignitos, hasta la antracita, cuya característica casi iguala al pequeño contenido en materias volátiles. Pues bien; esos análisis los hemos practicado con muestras tomadas de la misma capa de carbón, la núm. 12 del tramo inferior de la cuenca, conocida, por su potencia y beneficioso laboreo, con el nombre de «Generala», que se la dió en las primeras explotaciones de San Martín del Rey y del Villar y que se extiende por la cuenca á medida que se van conociendo las relaciones estratigráficas. Y confirma este hecho, que pudiera ser

reforzado con otros ejemplos, cómo en Asturias, exactamente lo mismo que en otras regiones de accidentada estructura, las muestras que en el plano general caracterizan las diversas calidades de hulla, se esfuman á través de las montañas marcando una variación gradual de composición en sentido aproximado á la dirección axial de los grandes anticlinales; y, si alguna vez sufren bruscas interrupciones, es cuando las capas atraviesan los principales ríos, en prueba de que los accidentes hidrográficos son denunciadores de las grandes fallas, quiebras y hundimientos que el terreno ha sufrido, bien posteriormente á la formación de los depósitos hulleros».

Otro tanto sucede en la cuenca de Espiel y Belmez en la que existen hullas de todas clases, desde las más grasas y bituminosas que predominan en su centro, entre Belmez y Peñarroya, hasta la más secas y antracitosas, sin salir del mismo grupo de capas. Al NO. de Peñarroya son antracitosas, en el grupo del *Antolín* grasas y muy limpias, las semigrasas de llama larga abundan entre Belmez y Espiel, en cuyo último punto se hacen más secas y pulverulentas.

En la mina *Santa Rosa*, de esta cuenca, hemos tenido ocasión de comprobar el tránsito gradual y progresivo de hulla seca á grasa, al mismo tiempo que se observaba un mayor desprendimiento de grisú. La variación de calidad del carbón aumentó de intensidad después de atravesar una falla que determinó un pequeño salto de la capa hacia el Sur, y cuyo cruce nos obligó á adoptar grandes precauciones á causa del importante desprendimiento de grisú: hubo caña de barreno que se convirtió en un verdadero surtidor, costando mucho trabajo su taponamiento á causa de la presión del gas.

El conocimiento que tenemos de esta cuenca, en la que hemos trabajado durante algunos años, nos permite extender á ella las conclusiones del Sr. Adaro respecto de la cuenca asturiana.

Análogas observaciones han sido hechas en las cuencas extranjeras respecto á la influencia de los trastornos estratigráficos sobre la composición de los carbones. Puede establecerse con carácter general que en las proximidades de una falla se observa una pérdida de materias volátiles y de las propiedades coquizantes del carbón de una capa. Así, dos muestras del Sur de Gales, procedentes la primera de una zona sin accidente estratigráfico apreciable, y la segunda de otra zona muy dislocada de la misma capa, suministraron aquella 23,4 por 100 de materias volátiles y ésta 18,9 por 100; también se comprobó en esta segunda muestra una concentración, un aumento de la proporción de cenizas.

Sin embargo, y aunque la dislocación de los estratos determina una disminución de materias volátiles, se incurriría en un gran error si se creyese que ésta es la única causa de antracitación de las capas. Ejemplo: en Bélgica se presentan las capas intensamente plegadas, y á pesar de ello distan mucho de aproximarse á las antracitas, lo cual no obsta para que, según hemos indicado, en las cuencas de Bélgica y Westfalia se observe una disminución más ó menos regular de materias volátiles á medida que se desciende en la serie estratigráfica. Del mismo modo el estudio de la cuenca de Kent ha permitido á Galloway establecer las conclusiones siguientes: 1.ª, que existe una gradual y prácticamente uniforme disminución de materias volátiles en la profundidad; 2.ª, que no existe relación entre la disminución de materias volátiles y la proporción de

cenizas; 3.ª, que cuanto más profundas se presentan las capas, á igualdad de las demás condiciones, más se aproxima su composición á la de las antracitas; y 4.ª, que la ocurrencia casual de una capa que contenga mayor proporción de materias volátiles que otra ú otras superiores á ella no destruye la primera de estas cuatro proposiciones; la razón de dicha anomalía hay que buscarla en otras causas que estudiamos más adelante.

Pero todos los efectos estudiados son consecuencia en su mayor parte de la acción del calor y de la presión sobre las capas de carbón y están íntimamente ligados á la importancia de estos factores durante el fenómeno de la hullificación. Su estudio bien merece capítulo aparte.

IX

Antes de continuar el estudio iniciado en el artículo anterior, creemos conveniente hacer una observación.

Hasta ahora, é intencionadamente, hemos prescindido casi en absoluto de la antracita, preterición que ciertamente intrigaba á muchos de nuestros lectores.

La razón que nos ha movido á proceder así, es que siendo la antracita, el *caput mortuum* de la destilación subterránea (1), uno de los últimos términos de la serie turba-grafito, es natural que su estudio aparezca al final, al analizar las últimas fases del fenómeno de la hullificación. Es así como á partir del artículo anterior empezamos ya á ocuparnos de la antracitación de las hullas.

En dicho artículo iniciamos el estudio de la influencia de la estratigrafía sobre las propiedades de los carbones, estudio que vamos á continuar, examinando pri-

(1) Meunier, *Les Gêtes Minéraux*, pág. 217.

meramente los *efectos de la temperatura* y después los de la presión sobre las capas de carbón, ya que realmente dichos efectos son los que determinan los llamados movimientos orogénicos.

Y ya que comenzamos por estudiar los efectos del calor, examinemos las modificaciones que una intrusión de rocas ígneas puede determinar en una capa de carbón.

En numerosos países, y entre ellos en España, existen pruebas evidentes de la transformación de un carbón graso en antracitoso, y aun en cok natural ó *carbonita*, bajo la influencia de rocas ígneas. Sin ir más lejos, la explotación de una capa en las proximidades de una zona de fuegos pone bien en evidencia la influencia de la temperatura sobre las propiedades del carbón.

Recuerdo á este propósito que la explotación del llamado Barranco de la Montera, del grupo de carbones grasos del *Antolin* (Pueblo Nuevo del Terrible), nos suministró un carbón de propiedades tales que tuvimos necesidad de marcar especialmente las vagonetas de dicha explotación, antiguo nido de fuegos, para evitar la mezcla de tal carbón con el que procedente de otros cuarteles de la misma mina se enviaba á los hornos de cok.

Volviendo á nuestro estudio de la influencia de la intrusión de rocas ígneas, haremos notar que sus efectos son, sin embargo, muy locales y que aun cuando existen grandes zonas antracitosas (Pensilvania y Sur de Gales, por ejemplo), sin relación alguna con rocas ígneas, ya veremos la parte que en la antracitación de tales cuencas puede haber ejercido el factor temperatura.

Aun cuando muy variable, existe una relación entre la importancia de la intrusión y la extensión de la

zona á que se extienden sus efectos, siendo, sin embargo, muchos los casos en que la capa de carbón apenas si presenta señal alguna de metamorfismo. Estos resultados dependen naturalmente de la temperatura del magma al ponerse en contacto con el carbón: si el magma llega relativamente frío, su acción metamórfica es nula ó casi nula; pero si, por el contrario, su temperatura es muy elevada, y de él se desprenden importantes cantidades de vapor de agua, y de otros gases y vapores, la alteración de las rocas que atraviesa es muy intensa. Desde este punto de vista el grado de acidez del magma tiene una gran influencia, pues aun cuando los magmas ácidos conservan su fluidez á temperaturas muy bajas con relación á las que precisan los magmas básicos para permanecer en dicho estado, las acciones metamórficas á que dan lugar los primeros son más intensas á causa de la mayor cantidad de gases y vapores que de ellos se desprenden; existen ejemplos de erupciones de basalto que al atravesar una capa no han dado origen á la menor modificación, y, en cambio, intrusiones de pórfidos de escasa importancia han determinado acciones metamórficas muy intensas.

Ahora bien, aunque la generalidad de los autores coinciden en admitir la existencia de tales fenómenos de metamorfismo, son muchos los que, como Strahan, sostienen que la intrusión de una roca ígnea puede coquizar el carbón de una capa, pero no convertirlo en antracita. En oposición de esta última conclusión podemos citar la existencia de pruebas bien claras, y afortunadamente no escasas en número, de intrusiones de rocas ígneas que han dado lugar al establecimiento de las tres zonas características del metamorfismo del carbón: una primera de cok, en contacto de la roca eruptiva; una segunda, de carbón antracitoso, y una terce-

ra zona de transición, en que la proporción de materias volátiles va aumentando hasta llegar á la normal. El siguiente ejemplo tomado de un estudio de G. von Rath confirma cuanto venimos diciendo.

I. Composición del carbón no influido por la roca ígnea:

Materias volátiles	20,30
Cenizas	8,29
Carbono fijo	71,41
	100,00

II. Composición del carbón en contacto con la roca eruptiva:

Materias volátiles	4,70
Cenizas	45.96
Carbono fijo	49,34
	100,00

III. Composición de una muestra tomada á 0,30 metros de la roca ígnea·

Materias volátiles	12.20
Cenizas	9.73
Carbono fijo	78.07
	100.000

Más interesante es aún lo que acontece en la cuenca de Belmez. Ya hemos indicado que en la parte occidental de la misma existen verdaderas antracitas; para nosotros, la presencia de éstas está íntimamente ligada á una inyección de pórfidos que ha llegado á inutilizar una masa muy importante de carbón. Todos cuantos reconocimientos llevó á cabo la Sociedad de Peñarroya por el pozo *Castellana*, dieron resultado negativo; se

encontró una masa importante de carbón, pero tan alterado por los pórfidos, que era realmente inexplotable. Este carbón, al que los mineros bautizaron con el calificativo de *carbón porfídico,* decrepitaba al echarlo en la lumbre, y sus trozos llegaban á ser proyectados con fuerza.

Otro ejemplo de la influencia de rocas ígneas lo tenemos también en la cuenca de Villablino. Estudiadas por Bone, Pearson, Sinkinson y Stockings (1), muestras tomadas en tres capas contiguas, las llamadas 4.ª, 5.ª, y 7.ª, cuya distancia varía entre 10 y 20 metros, observaron que mientras que el carbón de la primera capa suministraba un excelente cok, el de la capa 5.ª es un cok de mediana calidad, y la muestra de la capa 7.ª procede de un carbón semibituminoso, más bien antracitoso, y desprovisto de propiedades coquizantes.

La composición de dichos carbones, después de desecado, es la siguiente:

	Capa 4.ª	Capa 5.ª	Capa 7.ª
Carbono	78.30	74.25	82.80
Hidrógeno	4.30	4 02	4.15
Nitrógeno	1.40	1.09	1.93
Azufre	0.75	1.35	0.72
Oxígeno	6.00	3.04	3.85
Cenizas	9.25	16.25	6.55
Naturaleza del cok	Muy denso y duro.	Duro.	No coquiza.
Materias volátiles á 900°	19.6	19	16.75

El análisis final de los mismos carbones, secos y sin cenizas, da los resultados siguientes:

(1) *Proc. Roy. Soc.*, serie A, vol. 100, 1922.

	Capa 4.ª	Capa 5.ª	Capa 7.ª
Carbono	86.28	88.65	88.59
Hidrógeno	4.74	4.80	4.44
Nitrógeno	1.54	1.30	2.07
Azufre	0.83	1.61	0.77
Oxígeno	6 61	3 64	4.13
	100 00	100 00	100.00
Materias volátiles á 900º	21.7	22 7	17.9

El paso de una capa que, como la 5.ª, coquiza perfectamente á otra que, como la 7.ª, está desprovista de dicha propiedad es un buen ejemplo de cómo dos carbones en los que las proporciones de carbono, hidrógeno y oxígeno son muy poco diferentes pueden diferir notablemente en sus propiedades coquizantes. Dichas anomalías no pueden ser atribuídas sino á la existencia de un banco porfídico al techo de la capa 7.ª y cuya intrusión es posterior á la formación de la misma.

La cuenca de Puertollano, en la que las capas son atravesadas por una erupción de basalto que coquiza el carbón de la zona de contacto, es otra prueba en favor de cuanto venimos diciendo.

Podríamos citar otra infinidad de ejemplos que patentizan la influencia de las rocas ígneas sobre las capas que atraviesan, ó con las cuales se ponen en contacto, influencia cuyos efectos son debidos á la temperatura del magma, á los vapores que de él se desprenden y á la compresión que su intrusión determina sobre los estratos.

El resultado es siempre disminuir la proporción de materias volátiles y aumentar la de carbono fijo, ó sea el grado de antracitación del carbón.

X

En los artículos anteriores hemos indicado la influencia de la profundidad y de los accidentes estratigráficos sobre el grado de antracitación de las capas de carbón. Existen, sin embargo, zonas muy importantes en que los sedimentos carboníferos están intensamente plegados, y, á pesar de ello, las capas apenas si presentan la menor reducción en sus proporciones de materias volátiles. Una vez más se pone de manifiesto la imposibilidad de generalizar cualquier fenómeno geológico por los caracteres con que se manifieste en una zona determinada.

Observemos que para que la desvolatilización de un carbón pueda tener lugar, es condición precisa que las materias volátiles puedan desprenderse. Así, Campbell (1) justifica las anomalías á que aludimos con la falta de fisuras en el carbón y en los estratos que lo recubren ó con la poca porosidad y permeabilidad de los mismos, impidiendo el libre desprendimiento de las materias volátiles. Ya veremos más adelante la influencia de la composición y permeabilidad de los estratos superiores á una capa de carbón sobre la naturaleza de éste último.

Campbell establece que la antracitación del carbón se deriva principalmente de efectos térmicos, cualquiera que sea la causa que los produce, y entre estas últimas figuran los empujes, que al determinar el plegamiento de los estratos, dan lugar á la producción de elevadas temperaturas; pero, en tanto que los productos volátiles que se separan del carbón no puedan despren-

---

(1) *Hypothesis to account for the transformation of vegetable matter into the different grades of coal.*, Econ. Geol., vol. I, pág. 26, 1905.

derse libremente, no se observará modificación alguna, de relativa importancia, en la capa.

En apoyo de su teoría cita Campbell varios ejemplos y entre ellos el del carbón grafítico de Rhode Island, al que considera como un carbón llevado al límite de antracitación á causa de un gran número de fallas y roturas por las que han podido escaparse las materias volátiles durante el plegamiento de las capas. También, y de acuerdo con esta teoría, es fácil explicarse la antracitación de la cuenca de Pensilvania, pues precisamente la zona antracitosa se presenta más rota y fallosa que la de los carbones grasos. En cambio, los lignitos del Norte de Dakota y Tejas aparecen recubiertos de arcillas impermeables.

Pero no se crea que la teoría de Cam pbell, que conviene para la cuenca de Pensilvania, cuya formación era hasta entonces de difícil justificación, es una teoría de carácter general; recordemos una vez más lo que venimos diciendo desde un principio: la falta de valor de las generalizaciones en Geología. Existen, en efecto, muchas cuencas trastornadas en grado superlativo y en las que, sin embargo, es nula ó casi nula la desvolatilización de sus carbones.

No basta la producción de grandes empujes; es preciso que la presión subsista durante algún tiempo para que el calor originado durante la compresión produzca su acción, pues si un empuje va inmediatamente seguido de roturas de rocas, se perderán en su mayor parte los efectos térmicos.

Durante mucho tiempo se ha creído que la presión no influía sobre el estado químico final del carbón, basándose para sentar este aserto en el resultado de experiencias que distan mucho de las condiciones que han presidido la formación de la hulla. Hoy se da á

este factor la importancia que realmente tiene y que no sólo se traduce en reducciones de volumen.

Un hecho que, desde luego, tiene que llamar nuestra atención, es que la antracita y los carbones ricos en carbono se encuentran de preferencia en regiones intensamente dislocadas. Si una cuenca carbonífera contiene antracita, ésta se encontrará en sus montañas ó en las zonas más trastornadas. Esta observación nos conduce necesariamente á relacionar el origen de la antracita con los empujes, causa de tales accidentes estratigráficos, hipótesis que, como ha demostrado White, es la más racional y que mejor explica la desvolatilización de los carbones durante la que hemos llamado fase dinamoquímica.

Cualquiera otra de las muchas teorías que han sido emitidas para explicar el origen de la antracita presenta menos visos de verosimilitud, está menos en armonía con lo que nos muestra la observación. Desde luego, para nosotros no tiene valor la teoría que supone que la antracita deriva de acumulaciones de vegetales esencialmente distintos de los que han constituído el punto de partida de los carbones bituminosos.

Tampoco parece muy admisible la teoría de los empujes que acabamos de exponer en sus líneas generales, por las numerosas excepciones observadas, pero, como se trata de un fenómeno geológico en que intervienen diferentes y múltiples factores, acaso tomando en consideración algunos de ellos, de que hasta ahora hemos prescindido, encontremos la justificación de tales anomalías.

Para ello haremos notar, primeramente, que los estratos que integran las distintas formaciones geológicas pueden clasificarse en dos grandes grupos: estratos *plásticos* y *rígidos*, ó sea, estratos fácilmente plegables

y otros que, aunque sean plegables, no lo hacen sino sufriendo numerosas roturas.

Cuando un cierto espesor de estratos se encuentra sometido á empujes tangenciales, los plásticos se adaptan á los rígidos, que presentan mayor resistencia al plegamiento. Si los estratos son horizontales y heterogéneos, aunque el empuje sea paralelo á la estratificación, bien pronto se originarán empujes oblícuos determinados por los movimientos de unas rocas con respecto á otras, y su resultado será que los estratos plásticos presentarán una deformación mayor que los rígidos.

Se conocen bastantes casos en que un cierto espesor de estratos aparece intensamente plegado sin que aquellos entre los cuales encajan presenten señal alguna de haber estado sometidos á la presión que produjo aquél efecto. Esto es debido á que la acción de la presión sobre éstos últimos se ha reducido á hacerlos resbalar sobre los primeros; aquéllos han resbalado sin plegarse y éstos se han plegado intensamente. Un ejemplo de esta anomalía ha sido comprobado por Strahan en Inglaterra: los estratos intercalados entre dos capas de carbón aparecen sumamente plegados, en tanto que en las capas no se observa la menor señal del empuje que originó aquel plegamiento.

Otras veces los estratos plásticos intercalados entre otros rígidos se acumulan, son empujados hacia el corchete de un anticlinal, zona de menor presión; si el espesor de estratos plásticos estaba completamente petrificado, esta acumulación requiere haber sido precedida de una importante compresión, y en el caso del carbón, por ejemplo, puede determinar su transformación en grafito, ó bien, y si el carbón no estaba perfectamente consolidado, se pueden producir los dos efectos siguien-

tes: ó acumularse el carbón en el corchete del anticlinal á presión insuficiente para que sufra la menor alteración en su composición, ó ser tal la presión, que haga posible dicha modificacion química; pero, tanto en uno como en otro caso, su petrificación tendría lugar en su nuevo alojamiento y, probablemente, no presentará desde el punto de vista tectónico señal alguna de la presión que ha soportado. Las antracitas de las cuencas de Wyoming, en América, y las de algunas cuencas chinas que se presentan estratificadas horizontalmente, se encuentran en este caso. ¡Quién sabe si muchas discordancias, en las que se ha fundamentado una distinción de tramos, reconocen una causa semejante!

Como resumen de cuanto llevamos expuesto en este artículo, diremos que para que los empujes, ya sean tangenciales ó radiales, produzcan la desvolatilización del carbón es preciso: 1.°, que una parte importante de dichos empujes se aplique á la compresión del carbón, y 2.°, que los estratos superiores presenten permeabilidad suficiente para que puedan escaparse los productos volátiles originados por los efectos térmicos. Si el empuje se traduce inmediatamente en rotura de estratos, los efectos térmicos serán pequeños y poco persistentes; los estratos aparecerán dislocados, y, sin embargo, el carbón de las capas que encierran presentará la misma composición. Mediante esta teoría es posible justificar el origen de muchas cuencas antracitosas, cuya formación no parecía responder á ninguna de las antiguas hipótesis. Tal era el caso de las cuencas de Pensilvania y Sur de Gales, y es también teniendo en cuenta la hipótesis de los empujes tangenciales, como White ha llegado á establecer que las líneas *isovolátiles* son normales á la dirección del empuje, con

ligeras anomalías atribuibles á la complejidad de los movimientos resultantes de tales empujes.

Y que la antracita debe su origen á los efectos del calor y de la presión lo demuestran varias de sus propiedades características.

La antracita es compacta, dura, cual corresponde á una masa muy comprimida. Su textura es, generalmente, foliácea; sus planos de crucero, muy numerosos, prueba palpable de plegamientos más intensos que los sufridos por los carbones bituminosos.

A más, el mismo brillo gris metálico, grafitoso, de la generalidad de las antracitas, parece que es resultado de los efectos térmicos. Así lo han demostrado los experimentos llevados á cabo por Roberts (1), que coquizando una mezcla de carbón graso de pocas materias volátiles, y otro seco, rico en tales elementos, obtuvo un producto que, lejos de presentar la estructura porosa de un semicok, se asemejaba á la antracita por su brillo y fractura.

Un hecho importante es que, repetidas las experiencias con carbón mate, el resultado fué nulo, pues permanecía infusible aun á temperaturas de 900°, razón por la cual sólo empleó el carbón brillante en sus experimentos. Más adelante veremos el valor que concedemos á esta observación.

También ha comprobado Roberts que las irisaciones, los juegos de luz que presentan frecuentemente las antracitas, pueden producirse por la acción del calor. Estas irisaciones, que caracterizan el carbón que los ingleses llaman *Peacock*, y que presentan mucha analogía con las que produce una gota de petróleo al extenderse sobre la superficie del agua, eran antes

(1) Colliery Guardian, 1.º de Septiembre de 1922.

atribuídas al óxido de hierro contenido en las aguas que circulan por las fisuras del carbón; por esto se observan tales efectos con bastante frecuencia en los afloramientos de las capas; pero se ha visto la posibilidad de producirlos por la acción del calor, y la mejor prueba de ello nos la suministra el carbón procedente de zonas de fuegos.

Sin embargo, y á pesar de las pruebas enumeradas en favor de la influencia de la presión y temperatura sobre la antracitación de las capas, existe un punto obscuro que es preciso aclarar.

Admitida la desvolatilización, es natural que proporcionalmente á la pérdida de productos volátiles aumenten las cenizas del carbón, que habrán de concentrarse en una masa menor, pero la observación demuestra que, aunque tal sucede en algunos casos, es precisamente la antracita el carbón que, en general, contiene menor proporción de cenízas. Punto es este cuyo desarrollo aumentaría mucho la extensión de éste artículo, siendo ésta la razón que nos obliga á dejar su examen para el artículo siguiente.

XI

En el artículo anterior dejamos pendiente de examen cuestión tan interesante como la que deriva de la comparación entre las proporciones de cenizas de la antracita y de los restantes combustibles. Pero antes de entregarnos á este estudio nos vamos á detener un poco y á consagrar algún espacio al del origen de las cenizas del carbón, ya que en la proporción de ellas encuentran un argumento, que esgrimen en contra del origen vegetal del carbón, los defensores de su origen inorgánico.

Parten para ello del paralelo que trazan entre la proporción de cenizas de los vegetales y del carbón, y de las distintas proporciones de los elementos minerales de unos y otros derivan que el carbón no puede ser de origen orgánico. Algunos autores llegan á hacer de esta anomalía el punto de partida de toda su teoría.

Indudablemente proceden con gran ligereza, pues basta recordar cómo se han formado las acumulaciones vegetales, y que éstas, después de la hullificación, han entrado en la categoría de rocas sedimentarias, más ó menos permeables al agua, que al circular por sus grietas y fisuras depositará parte de los elementos que lleva en disolución y disolverá algunos de los que encuentre á su paso, y á los gases y vapores procedentes de los magmas más ó menos distantes. Toman tales autores como único origen de las cenizas del carbón la concentración de las contenidas en los restos vegetales de que deriva, olvidando que tales cenizas proceden:

1.º De los elementos minerales contenidos en las plantas de que deriva el carbón;

2.º Del material detrítico sedimentado en el sitio en que ha tenido lugar la acumulación de los restos vegetales, antes y durante la hullificación;

3.º De los depósitos de sales que contenía en disolución el agua que ha estado en íntimo contacto con los vegetales durante su acumulación y hullificación;

4.º De los depósitos originados por las aguas al circular por las grietas y fisuras del carbón durante y después de la hullificación; y

5.º De los productos resultantes de las reacciones entre los elementos del carbón y de las rocas en que encaja.

A primera vista se ve la imposibilidad de relacionar las cenizas de los vegetales y las del carbón, á menos que

se empiece por admitir que las capas de hulla constituyen una excepción, y están dotadas de un privilegio de que carecen los demás estratos: el de ser insensibles á todos los fenómenos de la química terrestre. Como no hay ninguna razón que justifique este hecho, sino que, muy al contrario, la influencia de los estratos superiores puede llegar á ser tan intensa que determine incluso la desaparición del carbón, por su oxidación en capa, hacemos entrar á estos combustibles en las condiciones generales para todos los estratos.

Ahora bien, admitidos los orígenes ya indicados para las cenizas del carbón, se ha tratado de relacionarlos con las contenidas en cada uno de los cuatro componentes, vitreína, claraína, mateína y fuseína. En primer lugar, se ha observado que la proporción de cenizas aumenta en dichos componentes por el orden en que acaban de ser enumerados, y, en segundo lugar, analizadas las cenizas, se ha visto que su composición es distinta para cada uno de ellos.

Tratando de relacionar los distintos orígenes de las cenizas con los diferentes componentes del carbón, ha obtenido Lessing (1) resultados que le han permitido establecer las condiciones siguientes: que las cenizas de la vitreína, ricas en álcalis, proceden casi exclusivamente de los vegetales originarios; que las de la claraína contienen ya algunos elementos extraños, material detrítico, principalmente; que las de la mateína, formadas casi exclusivamente por el silicato de alúmina, están exentas de álcalis y magnesia, por lo que se admite que derivan del material detrítico sedimentado durante la acumulación. Por último, la fuseína es el componente que encierra mayor proporción de cenizas á causa de

(1) *The study of mineral matter in coal*, Fuel, Enero de 1922.

que siendo la parte más porosa ha sido la más recargada de depósitos salinos por las aguas, que de preferencia habrán circulado á través de este estrato de pequeño espesor, pero de mayor permeabilidad, y que cual corresponde á su modo de formación contiene también los elementos minerales de las plantas de que procede. Estos resultados han sido confirmados por los recientes trabajos de Baranov y Francis (1) que llegan á las mismas conclusiones que Lessing.

Como las proporciones de cenizas van aumentando desde 1,1 por 100, y aún menos, que contiene la vitreína, hasta 30 por 100 que llega á contener la carbogenina, fácilmente se comprende que independientemente de las demás condiciones, el predominio de cualquiera de los cuatro componentes basta para determinar grandes variaciones en las proporciones de cenizas del carbón resultante.

Pues bien; volviendo á estudiar el hecho de que la antracita contenga una pequeña proporción de cenizas, que no está en relación, ni mucho menos, con la pérdida de materias volátiles durante la antracitación, podríamos justificar dicha anomalía, á semejanza de otros autores, haciendo derivar la antracita del carbón brillante exclusivamente. Así, tomando como punto de partida un carbón en cuya composición entren solamente la vitreína y claraína y que contenga 1 por 100 de cenizas y 30 por 100 de materias volátiles, su conversión en antracita de 10 por 100 de materias volátiles elevaría sólo á 1,25 por 100 la proporción de cenizas de la antracita resultante. Pero el razonar así sería completamente artificioso; justificaríamos el fin que nos proponemos, usando de medios nada técnicos. No es,

(1) Fuel, de Noviembre 1922.

en nuestro concepto, necesario forzar una hipótesis cuando estudios recientes nos permiten dar la explicación perseguida.

Ya hemos dicho que la vitreína y claraína contienen cenizas que por su composición se asemejan mucho á las de los vegetales, y que, por el contrario, el análisis de las de la mateína y carbogenina revela que un 90 por 100 de sus cenizas está formado por la sílice, alúmina y cal. Teniendo en cuenta la porosidad de los dos últimos componentes, y sobre todo la de la fuseína, es fácil deducir que una gran parte de dichos elementos ha sido depositada por las aguas al circular por sus grietas y fisuras, y confirma esta deducción la importante proporción de cal, que en la fuseína llega á ser de la cuarta parte del total de las cenizas. Por tanto, si la antracitación ha tenido lugar antes de que estos depósitos secundarios hayan podido formarse, las proporciones de cenizas de la duraína y fuseína serían inferiores aproximadamente en un 25 por 100 á las que actualmente contienen, y, por tanto, un carbón que no haya sufrido la antracitación, puede presentársenos con la composición siguiente, por ejemplo,

Vitreína.....	10	por 100	conteniendo	0,09	de cenizas.
Claraína.....	12	—	—	0,20	—
Mateína.....	75	—	—	5,85	—
Carbogenina....	3	—	—	0,40	—
	100			6,54	

ó sea, con 6,54 por 100 de cenizas.

Pues bien; dicho carbón, antes de cargarse de cenizas la duraína y carbogenina, presentaría la composición

Vitreína.....	10,1	por 100	conteniendo	0,09	de cenizas.
Claraína.....	12,2	—	—	0.20	—
Mateína.....	74,8	—	—	4,38	—
Carbogenina....	2,9	—	—	0,29	—
	100,0			4,96	

y al antracitarse, y perder 20 por 100 de materias volátiles, resultaría una antracita con una proporción aproximada de cenizas de

$$\frac{4.96 \times 100}{80} = 6{,}20 \text{ por } 100$$

inferior en 0,34 por 100 á la que contendría dicho carbón si no hubiese sufrido la antracitación.

Esta manera de explicar el origen de la antracita está muy en armonía con los resultados obtenidos estudiando al microscopio tales carbones. Y aunque los estudios de esta clase de combustibles están aún en sus comienzos, á causa de la preferencia dada por todos los investigadores al de los carbones grasos, no creemos está muy lejano el día en que puedan fijarse con toda exactitud los caracteres de los representantes de los cuatro componentes del carbón en la antracita y que veamos confirmada nuestra teoría. Un gran paso ha sido ya dado, pues Ground publicó á principios de este año un trabajo muy interesante sobre las antracitas del Sur de Gales, en las que ha podido reconocer la existencia de tres componentes que ha equiparado á la fuseína, claraína y vitreína de los carbones grasos.

Hoy tenemos ya una prueba, de gran valor, del papel jugado por la temperatura en la formación de la antracita, y es la que suministra la observación de que dicho combustible no contiene compuestos β y γ, y sí sólo compuestos α, estables á alta temperatura.

Finalmente, y para dar por terminado nuestro estudio, diremos algunas palabras sobre el grafito, estado límite en la escala turba-grafito. Este será el principal objeto del artículo siguiente.

XII

Aunque en la antracita predomina el carbono, no es, sin embargo, dicho combustible el último término en la evolución de los carbones fósiles.

A causa de reacciones metamórficas llevadas al límite, y en tanto que los estratos en que arman pasan al estado de pizarras cristalinas, las capas de hulla, recorriendo la parte final de la serie turba-grafito, se convierte en carbono químicamente puro, en grafito ó mina de plomo.

Es el grafito un mineral de color negro de hierro ó gris acerado y brillo metálico. Cristaliza en el sistema romboédrico, aunque algunos cristales presentan simetría monoclínica, en lo que se diferencia del diamante, que cristaliza en el sistema cúbico. Uno y otro, el grafito y el diamante, suministran el más hermoso ejemplo de cuerpos dimorfos.

Como el grafito se presenta tanto en el granito y otras rocas de origen interno como en los gneis y demás rocas cristalinas, se ha discutido mucho sobre su procedencia, siendo numerosos los partidarios de su origen inorgánico. Nosotros, y á semejanza de lo que opinamos sobre el carbón, creemos posible el doble modo de formación del grafito. Y una prueba de que puede ser de origen orgánico nos la suministra la *grafitación* de algunos carbones de formación orgánica, al contacto de rocas eruptivas, en Groenlandia y cerca de Cummoch en Escocia. Dana (1) cita el hallazgo de una gran masa de grafito, con estructura leñosa, en la mina *Alibert*, de Irkutz.

También se encuentra el grafito en los meteoritos,

(1) *System of mineralogy*, pág. 25.

y este hecho, unido á su presencia en rocas ígneas y á su separación cuando se enfría lentamente una fundición que contenga un exceso de carbono, es para algunos una prueba concluyente de su único origen inorgánico, y para nosotros una confirmación de que el de procedencia orgánica ha requerido para formarse elevadas temperaturas como corresponde al puesto que le asignamos en la serie turba-grafito y á nuestro modo de explicar el origen de la antracita.

Los análisis del grafito de Cumberland, han dado los siguientes resultados:

Materias volátiles.	Carbono.	Cenizas.
1.10.....	91,55	7,35 por 100
2,62.....	84,38	13,00 —
6.10.....	78,10	15,80 —
3.10.....	80,85	16,05 —

comprobándose que contiene de 0,5 á 1,3 por 100 de hidrógeno, lo que corrobora, según Regnault, el origen orgánico de tales grafitos, existiendo otros en que, por el contrario, es innegable su procedencia inorgánica.

Para terminar nuestro estudio nos falta tocar un punto muy interesante y es el que se refiere á las materias volátiles producto de la fase dinamoquímica.

Ya hemos indicado que una condición precisa para que un carbón pueda pasar por los últimos estados de la serie turba-grafito es que puedan desprenderse los productos volátiles que origina tal proceso. Entonces nos quedaría la antracita como residuo de la destilación subterránea, es decir, una substancia que sería enteramente semejante al cok de hornos si, en lugar de ser compacta, presentase la estructura porosa que caracteriza á este último, aunque ésta diferencia, como opina Mounier, es muy secundaria y achacable sólo á

la intensidad de la presión reinante en el aparato de destilación subterránea.

Los productos de una tal destilación pueden, ó desprenderse y diluirse en la atmósfera, á través de los estratos permeables y de las grietas y fisuras que éstos presenten, ó acumularse, bien en cavidades subterráneas que indudablemente han de producirse durante los plegamientos que contribuyen á la antracitación del carbón, ó impregnando los estratos permeables. En este segundo caso, práctica y científicamente favorable, se originarían los depósitos de gases combustibles, de petróleos y pizarras bituminosas de valor industrial tan elevado, sin que esto quiera decir que estos nuevos combustibles tienen sólo este origen, y sin que tratemos de entrar en el examen de cuestión tan discutida como la de la formación del petróleo, que para nosotros no es siempre el resultado de una misma serie de fenómenos geológicos. Unicamente haremos notar que cada nuevo descubrimiento á que conduce el estudio tan profundo que, desde hace relativamente muy pocos años, viene haciéndose de los combustibles, es una prueba más en apoyo de cuanto decimos.

Hoy está demostrada ya la posibilidad de transformar el carbón en productos líquidos, algunos de naturaleza idéntica á la del petróleo, mediante procedimientos químicos, muchos de los cuales, por no decir todos, pueden haber tenido lugar en el laboratorio terrestre. Por oxidación *in situ* el carbón no sólo pierde sus propiedades coquizantes, sino que llega á desaparecer, determinando la *rubefacción* de los estratos en que arma, fenómeno estudiado y expuesto, con la maestría que le caracteriza, por M. Durnerin (1), y que

(1) *Revue de l'Industrie Minérale*, 1 y 15 de Agosto de 1922.

acaso explique muchas anomalías y soluciones de continuidad observadas en algunas cuencas hulleras.

En resumen, consideramos el fenómeno de la hullificación como un fenómeno natural sumamente complejo, dependiente de múltiples factores, y por tanto, muy difícil de explicar con una sencilla hipótesis. Esto nos lleva á terminar nuestro trabajo con las mismas palabras con que lo empezamos: *Cuando se está en presencia de un depósito de carbón se deberá determinar, para cada caso particular, las condiciones genéticas, no aplicando una teoría única, sino estudiando las particularidades del yacimiento y la naturaleza de las asociaciones vegetales, las cuales nos permitirán escoger entre las diversas interpretaciones expuestas* (E. Haug).

INDICE

Páginas

I. Generalidades. Posibilidad de la formación de grandes acumulaciones de restos vegetales. Acumulaciones autóctonas..... 3
II. Acumulaciones alóctonas..... 15
III. Hechos que abogan en favor del origen vegetal del carbón..... 29
IV. Hullificación de los restos vegetales. Fase bioquímica..... 36
V. Caracteres de los cuatro componentes del carbón..... 44
VI. Combinación del estudio de la fase bioquímica. ¿Contiene el carbón oxidasas?..... 53
VII. Fase dinamoquímica. Relación entre la *edad* de los carbones y su grado de antracitación.... 60
VIII. Influencia de la profundidad y de los accidentes estratigráficos sobre la desvolatilización de los carbones. Ley de Hill..... 66
IX. Efectos de la temperatura. Metamorfismo determinado por las intrusiones de rocas ígneas. 72
X. Aplicación de la teoría de los empujes tangenciales á la formación de la antracita. Condiciones que se precisan para que pueda tener lugar la antracitación de una capa..... 78
XI. Origen de las cenizas del carbón. Justificación de la pequeña proporción de elementos minerales que suele contener la antracita..... 84
XII. Estudio del grafito, estado final de la serie turbo-grafito. Conclusiones..... 90

TRABAJOS DEL MISMO AUTOR

Alteración lenta y combustión espontánea del carbón. Publicado en la Revista *Polytechnicum.*

Determinación rápida del plomo contenido en una escoria. (Revista minera de Linares y La Carolina.)

Estudio sobre la posibilidad de reducir el coeficiente de seguridad de los cables de extracción. (Revista Industrial Minera Asturiana.)

Anteproyecto de la Sección de Minas de la Exposición de Industrias Eléctricas de Barcelona.

Visita á algunos establecimientos mineros y siderúrgicos del Norte de España, en colaboración con D. José Cabrera y Felipe, ingeniero de minas. (Revista minera de Linares y La Carolina.)

Informe sobre la explosión ocurrida en la mina de Cabeza de Vaca el 4 de Marzo de 1915, en colaboración con M. Lhéraud, ingeniero principal de la Sociedad de Peñarroya.

Clasificación y lavado de los carbones. (Revista minera de Linares y La Carolina.)

Incendios y fuegos subterráneos. (Revista *Industria y Economía*).

El óxido de carbono en las minas, folleto de 65 páginas, con 7 figuras, 2,50 pesetas.

EN PRENSA:

Incendios y fuegos subterráneos.

EN PREPARACIÓN:

Labores mineras en atmósferas cargadas de óxido de carbono.
Organización del salvamento en las minas.