

EFFECTOS DEL METAMORFISMO DINAMICO PROGRESIVO EN CAPAS DE CARBONES LIASICOS

ZONA RIO ATUEL (MENDOZA)

POR ANGEL V. BORRELLO

En el verano de 1946, en el transcurso de un rápido viaje de reconocimientos geológicos por el sur de Mendoza, tuve oportunidad de examinar diferentes asomos de capas mesozoicas expuestas sobre el costado izquierdo del amplio valle del río Atuel.

A corta distancia del mencionado río, y no lejos de la laguna El Sosneao, fueron hallados algunos afloramientos muy reducidos de un combustible sólido mineral, negro, denso y fuertemente deformado que, examinado y analizado con cuidado, resultó ser una antracita, esto es, uno de los llamados carbones de alto rango de las clasificaciones conocidas, de acuerdo con su gran proporción de carbono fijo y elevado rendimiento calórico.

Pese a que, según fué dicho, los afloramientos del citado combustible son harto reducidos, se ha considerado oportuno proceder a su descripción, en virtud de tratarse originalmente de carbones bandeados transformados, por la acción del metamorfismo dinámico progresivo, en antracita. Además, no existen, en el país, mayores datos sobre la presencia de depósitos de esta naturaleza, por lo que puede esta nota, por otra parte, contribuir al conocimiento de los mismos con vistas a ampliar el cuadro general de los combustibles minerales sólidos argentinos.

RASGOS GEOLÓGICOS REGIONALES

El área donde afloran los pequeños depósitos antracíticos del río Atuel (fig. 1) está ocupada preferentemente por depósitos del Liásico, o Cuyano Inferior de acuerdo a la moderna nomenclatura propuesta por Groeber (8, 143). La base de estos depósitos no está expuesta a la obser-

vacación en dicha zona, ni en los alrededores inmediatos. El techo de los mismos, lo forma un grupo de capas de transición (Aaleniese) hacia el Dogger, representado éste en algunos perfiles de la zona del Norte del río Atuel (arroyo de los Tábanos) por un grupo de capas no muy espeso

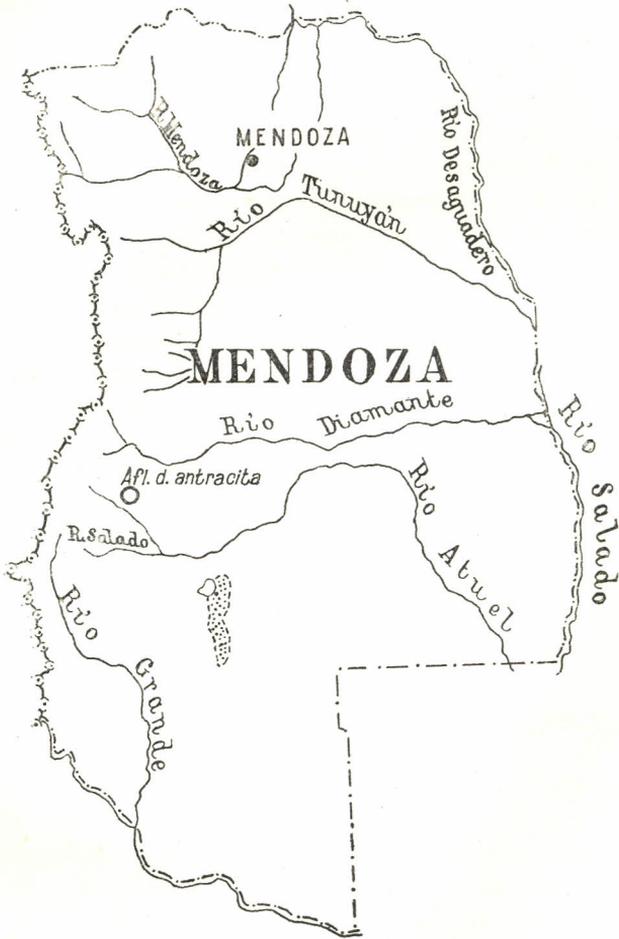


Fig. 1. — Plano general de orientación consignando la ubicación de los afloramientos de antracita sobre el valle del río Atuel. Escala del plano, 1 : 5.000.000

caracterizado por sus fósiles (amonites) en facies típicas (esquistos oscuros).

Anteriormente, Gerth mencionó este desarrollo del Liásico y Dogger en su clásico perfil del arroyo Blanco (6, 260) y el mismo fué reiterado años más tarde por Groeber en uno de sus estudios sobre la referida región (7, 87-89).

No obstante que, a ambos lados del río Atuel afloran capas liásicas, es al Norte del valle de este río donde tales depósitos se extienden con-

siderablemente en forma regular y a gran altura (4, 1-2) formando gran parte del relieve de montaña expuesto entre el arroyo Malo y el arroyo Blanco, como puede claramente verse en el reciente trabajo de Groeber sobre la parte relativa a su hoja Sosneao (8, mapa).

Los afloramientos de capas liásicas están formados por diferentes tipos de sedimentos que, en parte, encierran numerosas formas, bien conservadas, de fósiles marinos. Así, esto se observa en el curso superior del arroyo de La Manga y en la desembocadura del arroyo Blanco, a la izquierda del río Atuel. En otros niveles se advierten, y en abundancia, capas donde están encerrados abundantes restos vegetales, inclusive fragmentos de troncos (*Araucarioxylon*).

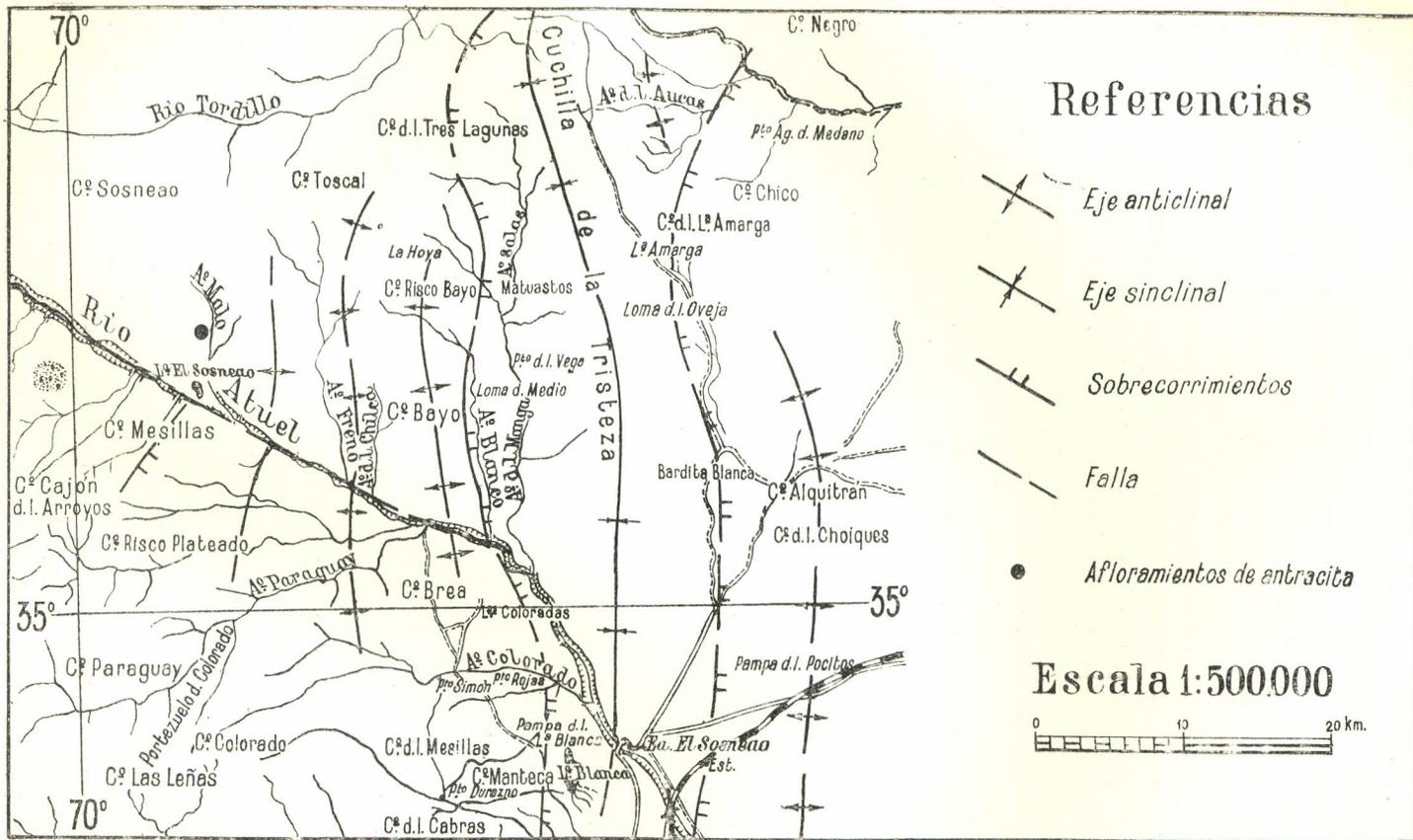
Estos depósitos integran una sucesión de gran espesor. Los sedimentos marinos y terrestres del Liásico, están formados de conglomerados, areniscas, arcillas, margas y otras rocas, de colores claros de conjunto. En la parte alta de la aludida sucesión fueron encontrados, anteriormente, algunos mantos de carbón sobre el valle del arroyo de La Manga, a corta distancia y al Este del lugar donde están los afloramientos de antracitas que se mencionan en este escrito. Esto, según veremos, tiene importancia para establecer algunas relaciones sobre ambas clases de carbones desde el punto de vista geológico, especialmente tectónico, tomando por base las condiciones estructurales que se observan en cada uno de los sectores donde, respectivamente, se ha verificado la presencia de carbón y antracita.

Los terrenos liásicos, al Oeste del arroyo Blanco están repetidamente penetrados por cuerpos andesíticos (con hornblenda). Los depósitos volcánicos (vulcanitas) de edad terciaria que forman el macizo del cerro Sosneao, y asimismo, los basaltos cuartarios que bordean la parte baja de su flanco sudeste, cubren ampliamente las capas mesozoicas hacia el Oeste.

En dirección al naciente, los grupos de estratos liásicos, y en parte tales del Dogger, terminan súbitamente a lo largo de una falla transformada en cobijadura que corre por el valle del arroyo Blanco.

Sobre el valle del río Atuel, desde la Estancia El Sosneao hacia el poniente, las capas mesozoicas y terciarias están fuertemente plegadas. Se observan, aguas arriba del arroyo de La Manga, varios pliegues deformados que, en parte, están profundamente hendidos por dislocaciones ajustadas en su rumbo a los ejes longitudinales a los anticlinales, parcialmente conservados, de esta zona.

Una de estas dislocaciones es la que, según hemos visto, coincide con la vaguada del arroyo Blanco, lo que fué oportunamente advertido por Groeber en su trabajo regional (8, mapa). Otra dislocación importante es el sobrecorrimiento que se observa a todo lo largo del faldeo oriental de la cuchilla de la Tristeza y la extensa fractura a que se ajus-



ta el rectilíneo valle del río Atuel desde el sector de la Loma del Medio hacia oestenoeste (fig. 2).

Sobre la margen derecha del río Atuel entre el cerro de La Brea, al Este, y el cerro de las Mesillas, al Oeste, y también en la margen opuesta, en un tramo de unos 25 km, están a la vista por lo menos tres zonas anticlinales que ascienden gradualmente unas sobre otras a medida que nos trasladamos hacia el poniente, esto es en dirección a las áreas precedentemente afectadas por el empuje intenso de las fuerzas orogénicas. En el mismo tramo, desde el cerro de la Brea hasta el cerro de las Mesillas y también al norte del río Atuel, el acortamiento del perfil, por la compresión, es evidente (fig. 4). Se advierte en general, un apilamiento de las estructuras positivas con supresión frecuente de sinclinales. Dado el origen y sentido de las fuerzas tectónicas, los planos axiales de los anticlinales expuestos en el perfil de referencia están inclinados hacia el poniente. Sólo por excepción pueden observarse repliegues secundarios, y fracturas, inclinados en sentido opuesto como resultados de movimientos de ajuste o movimientos diferenciales.

La compleja disposición tectónica de las capas mesozoicas, esencialmente de edad liásica en el referido perfil del río Atuel, coincide entonces con un plegamiento de intensidad manifiesta hacia el Oeste con el que están ligados los fenómenos de metamorfismo dinámico, a expensas de los cuales se produjo la alteración de los primarios depósitos de carbón.

Sobre la disposición tectónica de las capas en el sector del río Atuel, ya Keidel (9, 53) hizo alusión a dos regiones distintas de plegamientos. Entre el río Diamante y el río Grande, este investigador reconoció una región con plegamientos muy fuertes dentro del ambiente de la alta cordillera y otra con anchas bóvedas, extensa al naciente de la anterior. El área estudiada en torno a los afloramientos que se describen en el presente trabajo se encuentra aproximadamente entre ambas regiones de plegamientos. Podría decirse que el pie oriental del cerro Sosneao coincide con una zona de fuertes accidentes tectónicos dividiendo dos áreas que coinciden, en sus grandes rasgos, con las dos regiones de plegamientos correctamente interpretadas por Keidel cuatro decenios atrás. Todavía, la zona comprendida entre el pie oriental del cerro Sosneao y las primeras estribaciones de montañas (zona del cerro Alquitrán) admitiría una subdivisión: anchas bóvedas hacia el Este y pliegues volcados hacia el poniente mediando entre ambas el valle del arroyo de La Manga en lo que se refiere al perfil del río Atuel que nos interesa (fig. 4).

El bosquejo estructural de la figura 2 de este trabajo consigna de un modo general el rumbo de los ejes de pliegues más importantes, incluyendo los sobrecorrimientos y fracturas que existen a ambos lados del

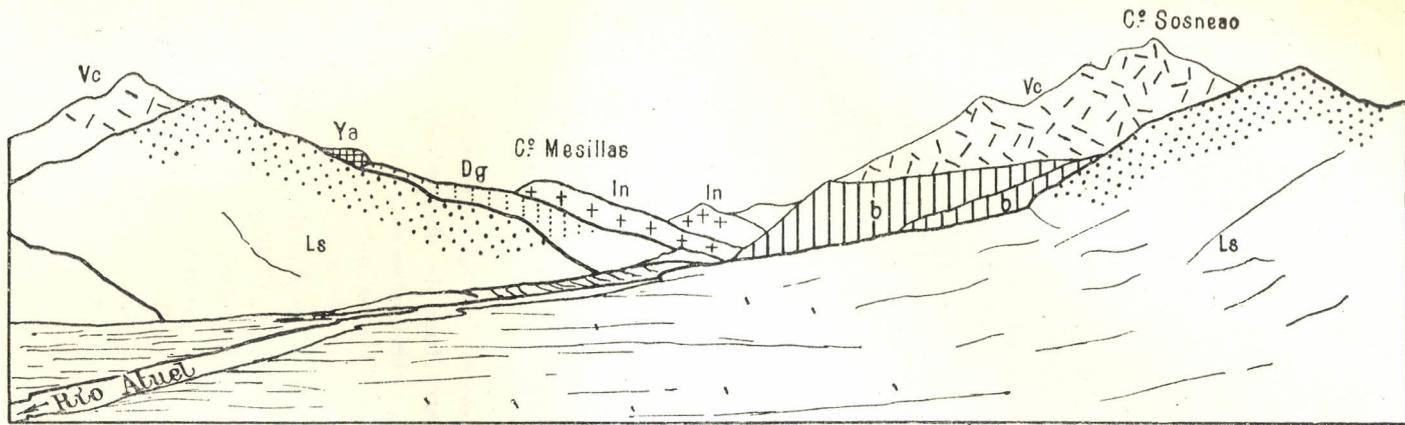


Fig. 3. — Panorama muy esquemático representando la estructura y composición del área montañosa en el curso superior del río Atuel donde verificóse el hallazgo de los pequeños afloramientos de antracita: *Ls*, Liásico; *b*, basaltos cuaternarios; *Vc*, vulcanitas terciarias (andesitas en lo esencial); *Ya*, yeso jurásico (auquiloense); *Dg*, Dogger; *In*, intrusiones terciarias, andesitas, etc. En el llano, en primer plano, hay remanentes de depósitos morénicos. Los afloramientos de antracita están, en este esquema, en la parte dibujada a la derecha, detrás de *Ls* en la prolongación del área ocupada por los basaltos *b* del segundo plano. El dibujo ha sido tomado desde el Este dando frente hacia el Oeste, ligeramente al ONO. Con el objeto de hacer clara la representación se han aumentado algunos pormenores esenciales. (*Ya*, por ej.). El macizo del C° Sosneao tiene 5189 m de altura s. n. m.

NU

SE

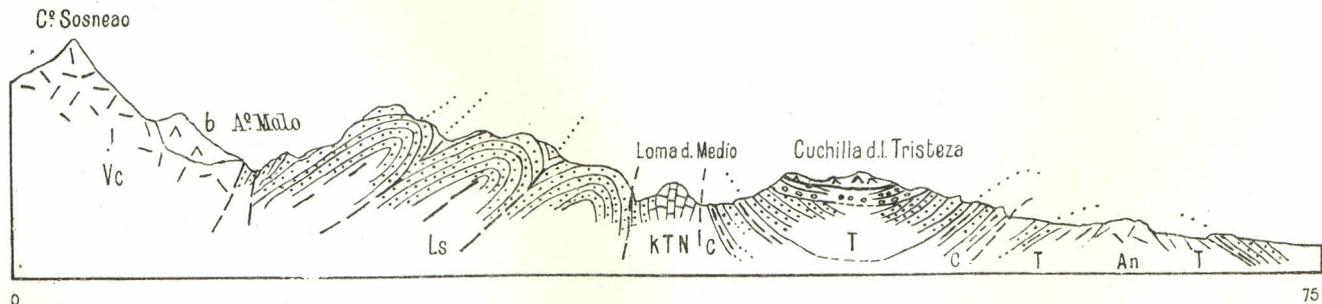


Fig. 4. — Corte geológico completo de escala aproximada representando, sobre el clásico perfil del río Atuel, secciones parciales de otros cortes que pueden observarse, a ambos lados del valle del río mencionado. En general el dibujo pretende reproducir, en su aproximación de conjunto, las condiciones tectónicas salientes de los cordones de montaña, entre las primeras estribaciones orientales y el macizo del cerro Sosneao (5190 m s. n. m.), al Oeste, hacia donde aumenta la intensidad del plegamiento: *Vc*, vulcanitas terciarias; *b*, basalto cuaternario; *Ls*, Liásico; *KTN*, Kimmeridge-Titoniense-Neocomiano; *C*, Cretácico superior; *T*, Terciario (con basaltos intercalados); *An*, Andesita con hornblenda.

valle del río Atuel. La representación de este bosquejo es de conjunto para indicar rápidamente las líneas esenciales del cuadro estructural de la región. En dicho bosquejo contrastan por un lado — hacia el Este — los ejes de dos pliegues: anticlinal y sinclinal de rumbo aproximadamente Norte-Sur, que caracterizan la estructura del plegamiento al naciente del arroyo de La Manga. Desde el mismo arroyo hacia occidente, en cambio, se pone de manifiesto que los ejes estructurales están más próximos entre sí, correspondiendo a pliegues aparentemente menos continuos en su rumbo que los mencionados anteriormente.

Al Oeste del arroyo Malo, con el macizo del cerro Sosneao integrado por rocas volcánicas terciarias, se extienden hacia el Oeste diversas estructuras tectónicas fuertemente plegadas y deformadas y frecuentemente atravesadas por macizos intrusivos andesíticos del Terciario, representadas en el croquis panorámico expeditivo de la figura 3.

En general, en la estructura tectónica de las capas mesozoicas de dicha región, como en otras, ha influido la presencia de las masas del llamado Yeso Principal (Anquilcoense), a tal punto que puede hablarse «de una tectónica del Yeso» para explicar muchos de los fenómenos de corrimiento y supresión tectónica observados en esta región y otras del Sur de Mendoza.

Refiriéndonos al tramo del perfil con capas liásicas en el arroyo Blanco y arroyo Malo, debemos insistir en que el plegamiento decrece de intensidad desde el Oeste hacia el Este. La deformación de las capas está en directa relación con dicha estructura tectónica y, en lo que en este caso en particular nos interesa, la deformación y alteración de capas de carbón liásico depende del lugar en que las mismas se encuentren dentro de las estructuras más o menos afectadas por el intenso plegamiento.

Sobre la base de lo expuesto, importa entonces que los mantos de carbón liásico participen de determinada estructura de plegamiento dentro del perfil a que se ha hecho referencia precedentemente y en el cuadro estructural ligeramente descrito para la zona del río Atuel (fig. 2).

Es decisivo el hecho de que los mantos de carbón de edad liásica que afloran sobre el valle del arroyo de La Manga, sector de La Hoya (fig. 2), se caractericen por contener un porcentaje de carbono fijo absoluto que oscila entre el 79 y 89%. Paralelamente con ellos, los tenores absolutos de materias volátiles para los mismos carbones oscilan entre el 21 y 11%, siendo evidente la relativa alteración estos minerales combustibles, encontrados en el Liásico más alto que forma el núcleo de la primera cadena de pliegues positivos a contar del arroyo Blanco hacia el Oeste.

Pocos kilómetros al poniente del lugar en que se encuentran los aflora-

mientos del arroyo de la Manga, dentro de capas semejantes, en una zona de plegamiento mucho más intenso, como que el mismo participa de una tercera línea de pliegues positivos, los remanentes de mantos de carbón localizados sobre el arroyo Malo, ya mencionado, tienen, según veremos, una proporción mucho más elevada de carbono fijo y, en parangón, un tenor bajo de materias volátiles. Ello ha permitido establecer, al respecto, la nueva clasificación que se comunica en esta publicación.

De todo esto se infiere que como resultante del plegamiento, de intensidad creciente entre áreas no distantes entre sí, y sobre mantos de carbón, ha obrado un *metamorfismo dinámico progresivo* que permite explicar la alteración y el consecuente cambio en la constitución física e incluso la respectiva variación del rango correspondiente de un mismo grupo de mantos de carbón, de posición estratigráfica idéntica en un sector no muy grande y caracterizado por sus condiciones tectónicas.

DESCRIPCIÓN DE LOS AFLORAMIENTOS

Los afloramientos de antracitas del sector del río Atuel se encuentran ubicados en la margen izquierda de este río, sobre el valle del arroyo Malo aproximadamente al norte de la laguna El Sosneao.

Desde el río Atuel hasta el lugar en que se encuentran los afloramientos de antracita, siguiendo por la margen derecha del arroyo Malo, aguas arriba, hay una distancia aproximada de unos 6 kilómetros, difíciles de cubrir aún a lomo de mula por el relieve abrupto, sobre todo después del lugar donde un pequeño arroyo denominado del Pedregal, tributario del lado izquierdo del arroyo Malo, se junta con éste, comenzando allí los fuertes desniveles en el cordón de montaña vecino al río Atuel.

Los afloramientos mencionados están preferentemente expuestos en la ladera occidental del estrecho valle del arroyo Malo. Las rápidas investigaciones efectuadas no permitieron extender el reconocimiento a la margen opuesta del mencionado arroyo, pero debe admitirse que puedan encontrarse otros afloramientos hacia el naciente, en vista de que, en esa dirección, afloran idénticos depósitos liásicos entre los cuales probablemente se habrían conservado asomos parciales de estos minerales combustibles.

Los pequeños afloramientos que se describen en este trabajo están muy próximos unos de otro. A primera vista el observador tiene la impresión de que se trata de remanentes, o mejor dicho, de jirones de un manto originario de carbón liásico, fuertemente comprimido y despedazado por los intensos movimientos tectónicos terciarios.

A causa de las dislocaciones intensas, resultantes de la orogenia andina, no parecen existir, por lo menos en el área examinada, depósitos o remanentes de estos carbones alterados de dimensiones apreciables, por otra parte, es dable suponer que el manto primario no haya sido de espesor considerable, a menos que se trate de un manto de cierta potencia y que probablemente por su composición arcillosa, en gran parte haya sido suprimido por movimientos tectónicos.

La figura 5 representa el remanente de un manto de carbón transformado

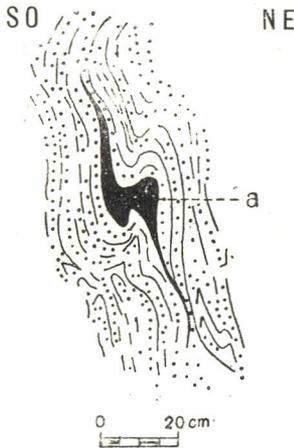


Fig. 5. — Afloramiento de antracita (a) comprimido en la parte central y acunado en los extremos. Las mitades opuestas de este jirón tectónico de antracita guardan curiosa simetría y casi regularidad entre capas de sedimento fino del Liásico, muy deformadas.

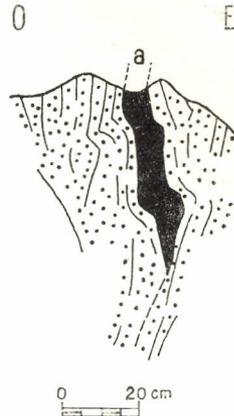


Fig. 6. — Pequeño remanente de antracita (a) muy deformado y biselado en su terminación, hacia abajo, a lo largo de un plano de fricción. Aparentemente este afloramiento conserva la estructura primaria del manto de carbón muy comprimido.

mado en antracita, dentro de areniscas. En este caso se observa un pliegue en las rocas que forman la caja del mineral, dentro de las cuales la masa antracítica y previamente carbonosa o, hasta arcillo-carbonosa, se ha ajustado totalmente. Deteniéndonos en tan curiosa deformación, se observa un ensanchamiento en la parte central de unos 15 cm de ancho, con una ligera estrangulación central que, aparentemente, divide en forma simétrica los dos pequeños cuerpos alargados de este afloramiento. Tales cuerpos pequeños terminan hacia los extremos en forma aguda, como por biselación, hasta perderse en la masa areniscosa de la caja a lo largo de un pequeño plano de fricción relativamente pronunciado. En el interior de éste, aun suelen verse algunas escasas láminas del mismo mineral combustible, fuertemente aplastadas, desapareciendo gradualmente entre los sedimentos liásicos portadores de este mineral.

La longitud total observada de este afloramiento es de unos 80 cm.

El segundo de los afloramientos examinados, es el representado en la figura 6. Este afloramiento dista del anterior muy pocos metros y está expuesto aproximadamente en la misma línea de rumbo. Las rocas de la caja son otra vez areniscas claras, en parte arcillosas, sensiblemente deformadas, con algunos repliegues cortos y asimétricos.

La antracita que aparece dentro de tales rocas está manifiestamente comprimida y por ende, deformada. No obstante ello, el pequeño remanente que se ha conservado permite, en apariencia, observar la característica estructura primaria del manto de carbón. El espesor máximo medido en este asomo, tal como está representado en la figura ya mencionada, no excede de 10 cm. La altura del afloramiento, desde la línea del perfil hacia abajo, hasta donde el mineral desaparece, es de unos 60 cm. La terminación brusca de este afloramiento hacia abajo, coincide también aquí con un plano de fricción que, en rumbo y profundidad, está localizado a un breve sector.

En el contacto con las rocas de la caja, el mineral no siempre se separa bien. Algunas finas capas de un material esquistoso oscuro, está adherido a las rocas de la caja, separando de ella la veta de antracita, sin que se observe transición. A veces este material se presenta también fuertemente adherido a la antracita; entonces está friccionado en el contacto con las areniscas y areniscas finas de las mismas paredes que limitan el mineral.

El tercer afloramiento, indicado en la figura 7, es el más voluminoso de cuantos han sido reconocidos en aquella oportunidad y se encuentra inmediatamente al sur de los anteriores, a escasa distancia del curso del arroyo Malo, precedentemente mencionado en las descripciones. En general, la disposición de este jirón de mineral antraécitico, no difiere grandemente de los afloramientos mencionados en primer término. Es un cuerpo de mineral combustible fuertemente ajustado en las rocas de la caja, también formadas éstas, en el presente caso, de areniscas y areniscas grises, en parte arcillosas.

Por su forma, aspecto, tamaño y otras características, el afloramiento de mineral representado en el dibujo de la figura 7, en sí, contrasta manifiestamente con sus rocas laterales. Los finos repliegues que se advierten en las areniscas de la caja, los acuñamientos de los mismos, la disposición conjunta de los sedimentos en el lugar de afloramiento, permiten formar idea de la compleja disposición observada en este jirón de antracita. La parte superior de este cuerpo es, según puede observarse en el dibujo respectivo, más ancha y regular que en la parte inferior del mismo afloramiento. La primera alcanza un espesor de unos 12 cm mostrando una apófisis como consecuencia de los movimientos de ajuste o amoldamiento de toda la masa de mineral. La parte inferior

tiene muy poco espesor e inclina en sentido opuesto con respecto al anterior. En esta última, los repliegues son más evidentes hacia abajo, en el corte del afloramiento y la terminación del mismo es un aplastamiento, desapareciendo el mineral entre planos de fricción irregulares que no revelan la presencia de material carbonoso, más allá del punto en que, de acuerdo a lo representado en el perfil de la figura 7, termina en profundidad el afloramiento descrito.

Las condiciones geológicas observadas en los aludidos afloramientos de antracita del sector del río Atuel, pueden compararse con las de algunos afloramientos de idéntico origen, mencionados por Heim (1896) en el Cantón Wallis, de Suiza (17, 348-350). En este caso, depósitos no muy grandes aunque de mayor volumen, en relación a los que motivan esta nota, son asimismo irregulares, hasta lenticulares, habiéndose consignado para ciertos afloramientos, la presencia de apófisis interpuestas dentro de las rocas de caja que está formada por esquistos y areniscas, palmariamente deformadas por la compresión (17, 349).

Los afloramientos de antracita del sector del río Atuel, constituyen, en suma, retazos, partes de un manto de carbón por lo menos, de rango bituminoso, cuya destrucción y alteración, de acuerdo a lo expuesto en párrafos anteriores, procede de la acción directa y única del metamorfismo dinámico y progresivo. Este metamorfismo pudo haberse iniciado con los movimientos tectónicos del Cretácico superior, pero su intensidad y desarrollo sin duda están en relación con las distintas fases del plegamiento andino acaecidas durante los tiempos terciarios.

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA MUESTRA

De los afloramientos se obtuvieron algunas muestras de las cuales el tamaño más grande de los fragmentos recogidos no excedió el de una nuez. Los pequeños trozos se caracterizan por su aspecto denso y color negro, en parte negro brillante. El mineral se rompe con fractura concoidal, preferentemente donde la alteración (antracitización) es más intensa. Algunas partes deformadas se separan en forma de láminas o en pequeñas amígdalas. En este caso el color es negro y la superficie de los fragmentos no ofrece el brillo que caracteriza a los otros de la fractura concoidal.

En general se trata de muestras de un mineral mucho más compacto que los carbones comunes. La gravedad específica es superior a 1,5 pudiendo en esto influir el tenor de material estéril en ciertos casos.

En cuanto a la dureza, es de señalar que estos carbones alterados, por su gran compacidad, tienen una resistencia elevada.

pero, las muestras se presentan sin la estructura común del bandeo de las masas de constitución de los carbones, debido a la alteración de la constitución física y a la destrucción de los macerales y fiterales como consecuencia del fuerte metamorfismo dinámico que obró durante la carbonización y, también, deformación del depósito de combustible.

Sobre la constitución física de los carbones, que importa para conocer la naturaleza misma de las antracitas, me remito a las obras que, de carácter fundamental, han producido, Stopes, en Inglaterra (16), Stach, en Alemania (14) y Cady (5), en los Estados Unidos de Norteamérica.

En este último país los conocimientos básicos de Petrografía de Carbones parten con la investigación de Thiessen, uno de cuyos primeros trabajos en lo relativo a estudios microscópicos del carbón data de 1913 (19, 178 y sig.).

En sección delgada no se reconocen en la masa, en general amorfa e irregularmente brillante, restos de las rocas típicas de las masas de constitución del carbón, ni mucho menos sus macerales o constituyentes en el sentido estricto de la nomenclatura usada en Petrografía de Carbones (10, 101). Se observa una masa sin estructura, negra, dentro de la cual se pone de manifiesto la carbonización o alteración característica. Sobre una pequeña muestra, relativamente poco alterada, se realizó un corte microscópico, habiéndose observado excepcionalmente restos de bandas vitriniticas sin una estructura definida (colinita). Por excepción se observan difusos restos de fusinita en pequeñas masas alargadas, formando como cuerpos englobados en la «matrix» de carbonización.

Estos remanentes no dejan lugar a dudas sobre el origen y composición de estos combustibles minerales sólidos, siendo de significar que, en este caso, existen manifiestas relaciones de conjunto entre las antracitas encontradas en el sector del río Atuel y las que fueron descritas por Stadnichenko para el Oeste de Pennsylvania en los Estados Unidos de Norteamérica (15, 511-543).

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y DE CLASIFICACIÓN

El siguiente análisis — efectuado por los laboratorios del Departamento Industrial de la Dirección General de Combustibles Sólidos Minerales — suministra datos correspondientes sobre las características químicas de este combustible mineral:

Humedad.....	7,07 %
Materias volátiles	5,43 »
Carbono fijo	78,18 »
Cenizas.....	9,32 »
Coque.....	87,50 »

Aspecto del coque.....	pulverulento
Color de las cenizas.....	pardo amarillentas
Poder calorífico sup.....	7141 cal/gr
Azufre total.....	0,37 gr/‰
Solubilidad en Cl ₄ C.....	insoluble
Solubilidad en S ₂ C.....	insoluble
Reacción nítrica.....	negativa
Reacción ácidos húmicos.....	negativa

Otros análisis semejantes, practicados sobre tales muestras, han ratificado los resultados del análisis mencionado en este trabajo, que se considera representativo para la clasificación del combustible que nos ocupa.

En base a los datos del análisis precedente se obtiene un valor absoluto de carbono fijo de 93,58 % y para materias volátiles otro valor idéntico de 6,41 %. El cálculo se ha efectuado sobre la base de un carbón libre de humedad y material inerte.

Tales porcentajes permiten determinar el mineral combustible como *antracita del grupo 2, clase antracítica*, de la clasificación del American Society for Testing Materials, E. U. A. (3, 82).

ALGUNOS CARBONES DE ALTO RANGO EN LA ARGENTINA

Por el hecho de que en el país existen grupos de capas paleozoicas con lechos de carbón, por una parte, y depósitos carbonosos, en relación, más jóvenes, afectados por el metamorfismo dinámico, o bien derivado de la acción de las masas intrusivas andesíticas y basálticas del Terciario, es dable suponer la presencia de los llamados carbones de *alto rango* dentro de los cuales, casi preferentemente, se ubican los carbones bituminosos de la clasificación A. S. T. M. y otros, fuera de los mismos que, sin ser tales, se caracterizan por su elevado poder calórico (3, 82).

Además de las condiciones ya mencionadas, de carbones paleozoicos o alterados por efectos térmicos, el rango elevado de un carbón procede también de las condiciones propias de aquellos yacimientos sometidos a la acción del fuerte metamorfismo dinámico. Es este último el caso de los carbones del sector del río Atuel, que se mencionan en este escrito, cuyos pormenores a este respecto se tratan en el capítulo siguiente.

Carbones que pueden en nuestro país considerarse de «alto rango», se han citado para la provincia de La Rioja y San Juan; también pueden definirse como tales algunos carbones de pequeños afloramientos de Mendoza (18, 25) y Río Negro (18, 29). Para todos los casos basamos la interpretación en forma general, ya que no se dispone de la serie de análisis necesarios para establecer comparaciones o promedios de conjunto para un mismo yacimiento.

En 1943, Alvarez (1, 121-132) publicó diversos resultados, preferentemente ilustrados con datos de análisis químicos sobre muestras — que en parte él mismo colectara — de unos afloramientos «situados 3 km en línea recta hacia el Este de la margen del río Limay en el departamento de Pilcaniyén, territorio de Río Negro» (1, 122).

Dicho autor presenta dos análisis sumarios en su trabajo. De uno de ellos (1, 123) se deduce que el mineral combustible, con 89,73 % de carbono fijo y 10,27 % de materias volátiles está comprendido dentro de las *semiantracitas*. Del otro análisis (1, 124) se infiere que las muestras, sin depurar, con 87,05 % y 12,05 % de carbono fijo y materias volátiles, corresponde a un carbón bituminoso bajo volátil, en el término más superior de la *clase bituminosa* establecida por la aludida clasificación A. S. T. M. (3, 82).

De acuerdo con lo expuesto por Álvarez en su trabajo, no puede aceptarse su clasificación de antracita, grupo 2, para las muestras de los carbones mencionados. A pesar del rango elevado en que pueden figurar dichos carbones, por los datos de los análisis químicos ya establecidos y los cálculos que permiten interpretar los mismos, para el uso de la clasificación A. S. T. M., se desprende que tales combustibles sólidos minerales no son antracitas «sensu stricto,» difiriendo cualitativamente de las que constituye el objeto de este escrito.

En la determinación del rango o en la aplicación de las correspondientes clasificaciones americanas o europeas, es fundamental el valor de los datos analíticos. Si bien es cierto que los criterios de orden físico, geológico y petrográfico contribuyen grandemente para ello, el apoyo concreto para establecer rango y usar de una determinada clasificación, lo suministra el análisis sumario sobre la base de la correcta aplicación de la respectiva fórmula proporcional para fijar los valores absolutos del carbono fijo y materias volátiles de un carbón.

SOBRE EL ORIGEN DE LAS ANTRACITAS

Uno de los problemas esenciales de la geología del carbón es el relativo al origen de las antracitas.

Desde la formación de las turberas hasta llegar a los estadios superiores de antracita, meta-antracita, antracitas grafiticas y otras formas extremas de la transformación de los carbones, se conocen las tres fases sucesivas incluidas en cualquier clasificación completa de carbones con brown coal, lignito, carbones subbituminosos, carbones bituminosos y semi-antracitas.

La clasificación más completa de que disponemos hasta el presente, o sea la de los distintos tipos de carbones por rangos, es la clasificación

A. S. T. M., citada en páginas anteriores (3, 82). En ella los carbones superiores se distinguen entre sí por la mayor concentración de carbono fijo y la reducción gradual de las materias volátiles. Incluso, aumenta el valor calórico desde los carbones bituminosos hasta las antracitas, perdiéndose en éstas la aptitud a la coquización que caracteriza a los carbones bituminosos alto volátiles y bajo volátiles hasta con un máximo de 78 % de carbono fijo (3, 82).

Según White (19, 91-130) la transformación de la materia vegetal en carbón se cumple a través de dos procesos consecutivos, fundamentales y diferentes, a saber: el proceso bioquímico y el proceso dinamoquímico.

En lo que se refiere al primero, una vez terminada la acumulación de la materia vegetal bajo las condiciones de la evolución de las turberas, tiene lugar el llamado proceso bioquímico en conexión con la actividad esencial de los microorganismos, de los cuales los más importantes son las bacterias. El proceso termina con el cese de la actividad microbiana por la reducción gradual y exhaustiva del oxígeno y el desarrollo de toxinas exterminativas. Al término del proceso bioquímico la materia vegetal habría alcanzado el grado de turba madura, amorfa y castaña o negra, con lo que quedaría completo el primer ciclo de evolución de los carbones.

El subsiguiente proceso o fase dinamoquímica, en el sentido de White, supone la transformación química y física de la materia vegetal, en el estado indicado, bajo la acción de las fuerzas geodinámicas.

Como consecuencia del recubrimiento progresivo de la materia vegetal transformada, por sedimentos del más diverso tipo, la turba en constante grado de evolución va adquiriendo compacidad manifiesta. La consolidación sería consecuencia de la pérdida paulatina del agua. Diversos productos dejados al término de la expulsión de gases y desalojo de líquidos, parecen constituir el cemento o aglomerante de esa masa combustible, cuyo proceso natural de diagénesis en nada se diferenciaría desde el punto de vista geológico de la conocida consolidación y formación de los sedimentos.

El tenor de humedad elevado en las turberas se reduce a las 3/4 partes en el mismo estadio de la transformación del carbón. Hasta alcanzar el estadio superior de antracita, la pérdida de humedad desde los lignitos inferiores hasta la meta-antracita es progresiva sobre la base de un porcentaje fijo para cada rango, en el criterio de White (19, 92).

Uno de los factores que intervienen en la transformación fisicoquímica de los carbones radica en la pérdida de gases y en la concentración de determinados elementos, merced a los procesos que tienen lugar preferentemente dentro de la masa orgánica en carbonización. La eliminación gradual de las sustancias volátiles es un proceso conocido con el nombre de *devolatilización* mediante el cual se pasaría del estadio ligni-

tico al de carbón propiamente dicho. El estadio final de este proceso comprende la expulsión de oxígeno, nitrógeno e hidrógeno junto con cierta proporción del elemento carbono, lo que no es del todo bien conocido. Por la devolatización intensa los carbones bituminosos alcanzarían el grado de antracitas (o rango de antracitas).

En lo que se refiere a la constitución física de los carbones es menester mencionar que a través de los diferentes estadios que se han mencionado se conservan las estructuras vegetales aun como remanentes hasta en los carbones alterados, aunque en estos últimos sea intensa la deformación o carbonización de la masa de carbón.

Sobre las teorías de la devolatización con la consecuente carbonización (o antracitización propiamente dicha) que directamente nos interesa en este caso para discernir en lo que se refiere al origen de las antracitas, se han expresado por parte de químicos, geólogos y paleontólogos, diversas ideas basadas en: la diferencia de los tipos vegetales que intervinieron en la formación del carbón; tiempo relativo sucedido durante la deposición de las materias vegetales; diferencias de climas (microclimas?) en el área de deposición de los restos vegetales; diferente acción bacteriana en los tiempos pasados y sus límites pertinentes de actividad, etc.; enriquecimiento bitumínico desde otras formaciones; gran diferencia en la profundidad debajo de otras formaciones; cambios debidos a determinados agentes químicos en circulación subterránea; efectos del calor desarrollado por las rocas infusivas; porosidad en las rocas del techo de los mantos de carbón y, finalmente, escape de la materia volátil a través de diaclasas en carbón y otras rocas (19, 96).

La discusión de cada una de estas diferencias específicas escapa de la índole fundamental del presente escrito. Interesan para nuestro caso los procesos relacionados con el origen de las antracitas en relación con la estructura tectónica sobre la base de los ya mencionados criterios del metamorfismo dinámico progresivo.

Se admite que las fuertes presiones esencialmente horizontales han convertido el lignito sucesivamente en carbones bituminosos. Éstos se han transformado por las mismas causas en carbones grafiticos (19, 116). La devolatización en tal caso dependería de la intensidad de la duración del movimiento compresivo. De acuerdo con ello el resultado podría ser el mismo para intensas presiones ejercidas sobre un carbón por un período de tiempo corto, que para un esfuerzo moderado que se haya desarrollado por un largo período o a través de varios períodos. Por eso podría prestarse aprobación a la idea de algunos investigadores según la cual en la actualidad, en ciertos campos carboníferos, la devolatización prosigue al presente y que no habría línea de separación entre los diferentes rangos de carbón sino intergradación, continuidad

o transición entre la turba-lignito y los carbones semi-grafíticos en el sentido de White.

Las evidencias físicas de la presión tectónica, como ser: fisuramiento (diaclasas), clivaje, plegamiento, fracturación, esquistosidad, « milonización », etc., no sólo se observan en los mantos de carbón sometidos a tales procesos sino que también, obviamente, alcanzan a los grupos de capas dentro de las que está encerrado el carbón, lo que no es fácil de observar en todos los campos carboníferos donde el carbón está transformado en antracita (19, 106).

En los Estados Unidos ha sido estudiado, en sus pormenores, por Stadnitchenko los efectos de metamorfismo *regional* progresivo en un manto de carbón bituminoso denominado Kittanning Inferior del Oeste de Pennsylvania (15, 511-543). A través de este estudio la autora presenta los resultados importantes y definitivos sobre la carbonización progresiva del manto de carbón de edad paleozoica (Carbonífero superior) mencionado, advirtiéndose en una zona muy plegada de unos 70 km de anchura un incremento en el tenor de carbón fijo que va del 60 al 83 % desde Oeste hacia el Este.

Estos carbones bituminosos, en dirección al naciente, aparecen integrando un área en la cual dichos combustibles están metamorfoseados y trocados en antracitas del más típico rango.

Con respecto a la zona anterior, la que contiene los mantos de antracita del Oeste de Pennsylvania, dista unos 100 km hacia el naciente. Es una zona de fuerte plegamiento caracterizada por la presencia de una sucesión de terrenos paleozoicos que contienen numerosos mantos de antracita (11, 379) intensamente explotados en la actualidad. Algunos detalles de la disposición tectónica de dichos mantos antracíticos figuran en el trabajo de Ashley (2, 9-10), en el cual además está agregado un bosquejo estructural de los anticlinales y los sinclinales de la parte oriental del Estado de Pennsylvania y los frentes de grandes corrimientos.

En los Estados Unidos se conocen depósitos de antracitas producidos por el efecto del metamorfismo térmico derivado de la acción directa de las intrusiones, de edad terciaria por ejemplo. Así, en el Estado de Colorado se conocen, no lejos de la localidad de Somerset, depósitos carboníferos de edad cretácica y terciaria gradualmente transformados desde carbones subbituminosos en depósitos de carbón bituminoso y antracita, a medida que los mismos se acercan a la zona penetrada por rocas ígneas mesosilíceas del Oligoceno. En el mismo país americano, dentro del Estado de Nuevo México, al poniente de Albuquerque, carbones de la misma edad han sido transformados en antracita dentro de paquetes sedimentarios afectados por la intrusión de filones-capas de andesitas terciarias. Una rápida referencia de estas antracitas figura en la obra de Stutzer (17, 364).

En Inglaterra ha sido particularmente bien estudiado el efecto causado por una intrusión de basalto (dique) que ha cortado el llamado « Brockwell seam », en el Distrito de Denton Burn de Northumberland (12, 244-249). De las observaciones practicadas en dicha región se ha inferido que entre otras resultantes del metamorfismo térmico, está el del beneficio en la calidad del combustible (12, 249). Ello significa que el metamorfismo rige en estos casos la concentración súbita del carbono fijo, aunque los carbones en su proceso de alteración no siempre se transformen en antracita.

Esto recuerda lo expuesto por Alvarez (1, 121-132) acerca de los ya mencionados depósitos de carbones terciarios del territorio de Río Negro afectados por el metamorfismo de rocas ígneas (1, 132), las que según el citado autor habrían actuado sobre estos minerales combustibles ejerciendo presiones y alterando la masa de los mismos como consecuencia de las altas temperaturas desarrolladas por la masa magmática en la penetración.

Raistrick y Marshall expresan que la evolución de los rangos en carbones hasta llegar al estadio final de antracita está caracterizado por: acentuación del color oscuro de la masa carbonosa a partir de los estadios primarios, aumentando el brillo aunque el mismo depende también de los cambios en la calidad; disminución del contraste entre los constituyentes siendo la laminación mucho menos marcada en los carbones de alto rango; mayor opacidad en los cortes delgados; disminución del contenido de la parte mineral en los carbones del rango superior bituminoso; aumento progresivo del valor calórico; pérdida paulatina del contenido de humedad; disminución de la proporción de las materias volátiles; incremento en el contenido de carbono fijo; pérdida del contenido de oxígeno y finalmente marcado decrecimiento en la proporción del elemento hidrógeno sobre todo en la antracita, no obstante la disminución del mismo elemento en los carbones de todos los rangos debajo de las semi-antracitas (12, 228-229).

Los mismos investigadores establecen una relación concreta entre la variación de los rangos del carbón y la historia geológica de las formaciones donde tales combustibles minerales están encerrados (12, 236-237).

La aludida relación se ajusta por una parte a las evidencias derivadas de la distribución de los rangos en arreglo con la estructura geológica, tal como sucede en el caso de las antracitas del río Atuel, por ejemplo.

La alteración por el calor debido a las intrusiones de rocas ígneas, es otra relación, con ejemplos asimismo establecidos precedentemente en este escrito, a lo que se agregan las experiencias de laboratorio que para ambos procesos metamórficos — intrusiones y presiones — han ofrecido cuantiosos elementos de interpretación al respecto.

Las antracitas no tienen en comparación la ingente distribución geográfica que caracteriza a los campos carboníferos mundiales que se conocen al presente. Ello está explicado por el hecho de que, de los factores del orden geológico mencionados: tectónicos o magmáticos, depende la génesis de estos combustibles, superiores en calidad y tipo. Con todo, la existencia de depósitos de antracita, de uno u otro origen, es apreciable en muchos países. Los Estados Unidos de Norteamérica disponen de una existencia explotable de estos combustibles, sólo para el Estado de Pennsylvania, de 16.000 millones de toneladas (2, 11). En Sud América, Perú tiene antracitas mesozoicas, originadas por fenómenos ígneos, en cantidad grande.

En nuestro país, por lo menos hasta ahora, tales combustibles sólidos minerales están en afloramientos cuya importancia es únicamente científica. Constituyen, en todo caso, una prueba de determinados fenómenos tectónicos, que importan en el fondo para contribuir, en su magnitud, al conocimiento de algunos aspectos de la geología regional de la Argentina.

CONCLUSIONES

Los afloramientos de antracita del valle del río Atuel, formados dentro de capas liásicas, proceden originalmente por lo menos de un manto de carbón, alterado positivamente por el efecto del metamorfismo dinámico progresivo. El efecto de este metamorfismo dinámico, supónese, se ha desarrollado esencialmente durante los tiempos terciarios.

Los remanentes de antracita descriptos no son sino jirones o retazos del o los mantos carboníferos primarios de rango bituminoso. Los procesos de alteración de tales carbones no han sido tan intensos sobre depósitos carboníferos liásicos ubicados varios kilómetros al naciente del lugar en que se encuentran los afloramientos de antracita mencionados. En ello ha influido el hecho de que las presiones tectónicas, esfuerzos de compresión, proceden del Oeste.

A grandes rasgos, los depósitos antracíticos del río Atuel se asemejan, en su formación, disposición, aspecto y otras características, a yacimientos de antracita de distinta magnitud y edad, que se conocen en el hemisferio norte, tanto en América como en Europa.

LISTA DE LOS TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

1. ALVAREZ, H. M., *Nota preliminar sobre un yacimiento de carbón « antracita » en la Argentina.* — An. Soc. Cient. Arg., CXXXV, 121-132. Buenos Aires, 1943.
2. ASHLEY, G. H., *The anthracite fields of Pennsylvania*, 12 págs. en *Analysis of Pennsylvania anthracitic coals.* Technical paper 659. U. S. Bureau of Mines, Dept. of Interior. Washington, DC, E. U. A., 1944.
3. A. S. T. M. COMMITTEE, *ASTM standards on coal and coke.* 159 págs. Filadelfia, E. U. A., 1947.
4. BORRELLO, A. V., *Reconocimiento del Liásico del río Atuel, Mendoza* (Informe inédito). Dir. Gen. de Combust. Sól. Miner. Buenos Aires, 1946.
5. CADY, G. H., *Modern concepts of the physical constitution of coal.* Journ. of Geol., L. 4, 337-357. Chicago-Illinois, E. U. A., 1942.
6. GERTH, H., *Geologie Südamerikas.* Berlín, 1932-35.
7. GROEBER, P. F. C., *Apuntes de un viaje por la provincia de Mendoza (Valle del arroyo Blanco, zona del río Atuel, arroyo de La Manga y cordón de la Tristeza).* Rev. Mus. La Plata, Sección Oficial, 1937, 87-89. La Plata, 1938.
8. — *Observaciones geológicas a lo largo del Meridiano 70. 2, Hojas Sosneao y Maipo.* Rev. Soc. Geol. Arg. 2, 141-176. Buenos Aires, 1947.
9. KEIDEL, J., *La zona del Mesozoico en la falda oriental de la Cordillera entre el río Diamante y el río Neuquén.* An. Minist. Agric., Sec. Geol., Miner. y Min., V-2, 27-65. Buenos Aires, 1910.
10. LOWRY, H. H., *Chemistry of coal utilization.* New York., E. U. A., 1945.
11. MOORE, E. S., *Coal.* 473 págs. New York, 1940.
12. RAISTRICK A. y MARSHALL, C. E., *The nature and origin of coal and coal seams.* 282, págs. Londres, 1939.
13. SEYLER, C. A., *Fuel chart and classification of coal.* Proc. South Wales Inst. of Engineering, XLVII. Inglaterra, 1933.
14. STACH, E., *Lehrbuch der Kohlenpetrographie.* 293 págs., 173 figuras en el texto. Berlín, 1935.
15. STADNICHENKO, T., *Progressive regional metamorphism of the lower Kittanning coal bed of the Western Pennsylvania.* Econ. Geol. XXIX-6, 511-543. Urbana, Illinois, E. U. A., 1934.
16. STOPEs, M. C., *Monograph on the constitution of coal.* 57 págs. Láminas. Dept. of Scient. and Ind. Research. Londres, 1918.
17. STUTZER, O. y NOE, A. C., *Geology of coal.* 461 págs. Chicago, Illinois, E. U. A. 1940.
18. TAPIA, P. M., *El desarrollo de la industria del carbón nacional y los yacimientos en el país.* Bol. Inform. Petrol. N° 217, Y.P.F. (reimpresión). 40 págs. Buenos Aires, 1942.
19. WHITE, D. and THIESSEN, R., *The origin of coal.* U. S. Bur. of Min. Bull. 38. 389 págs. Washington, 1913.