



LA FORMACION DE LOS CARBONES DE PIEDRA

I

ESPECIALMENTE DE LOS CHILENOS

POR EL

DR. J. BRÜGGEN

Jeólogo del Ministerio de Industria i Obras Públicas.

RESÚMEN

- I. La reparticion de los yacimientos de carbon.
- II Las teorías acerca del oríjen del carbon de piedra.
 - a). La trasformacion artificial de materias vejetales en carbon (esperimentos de laboratorio).
 - b). Procesos químicos que intervienen en la formacion del carbon de piedra.
 - 1) La trasformacion de materias vejetales en turba.
 - 2) La trasformacion de la turba en las diferentes

clases de carbon i los factores que favorecen este proceso.

- c). Las plantas de las cuales se forma el carbon.
- d). Aloctonía i autoctonía de los yacimientos de carbon.
 - 1) Aloctonía de los yacimientos de carbon.
 - 2) Autoctonía de los yacimientos de carbon.
- e). ¿Cuánto tiempo se necesita para la sedimentacion de las materias vejetales que han producido un manto de carbon?

III La formacion de los carbones de Arauco.

- a). Las condiciones paleojeográficas bajo las cuales se depositaron las capas carboníferas de la provincia de Arauco.
- b). El hundimiento del terreno i su relacion con la formacion del carbon.
- c). Perturbaciones posteriores de las capas carboníferas de Arauco.
- d). Algunas particularidades de los mantos de carbon, observadas en las minas de la provincia de Arauco.
 - 1). Empeoramiento i desaparicion paulatina de algunos mantos.
 - 2). Antiguos lechos de ríos que cortan los mantos de carbon.
 - 3). El *bronze* contenido en los mantos de carbon.
 - 4). El gas grisú.

Introduccion

El trabajo que me permito presentar en las páginas siguientes, lo considero como resúmen científico de mis cuatro *Informes sobre exploraciones de la Zona Carbonífera del Sur de Chile*, entregados al Ministerio de Industria i Obras Públicas i publicados en el *Boletin de la Sociedad Nacional de Minería* en los años de 1913 a 1915. Estos informes, que eran sólo descripciones de los estudios realizados en el terreno, debían limitarse a los resultados concretos de valor práctico, como

por ejemplo la comparacion de los mantos de carbon, la sucesion de las capas carboníferas, puntos de sondaje, etc.; pero no podian contener datos científicos, como por ejemplo acerca de las condiciones paleogeográficas bajo las cuales se depositaron las capas carboníferas de Chile. Estos resultados científicos, por su parte, están intimamente ligados a las teorías que existen acerca del modo como se ha formado el carbon. De consiguiente, en este trabajo tengo que discutir primero las diferentes teorías antes de ocuparme, en la parte principal, de la formacion de los carbones de Arauco.

I. La reparticion de los yacimientos de carbon

Desde que las plantas poblaron los continentes de la tierra, se han formado acumulaciones de sus restos muertos, que han dado oríjen a yacimientos mayores o menores de carbon. Solo de los períodos del Precambrio i Cambrio no se conocen tales yacimientos, porque las plantas terrestres han aparecido por la primera vez en el Siluriano. Del Siluriano i Devoniano tampoco poseemos yacimientos explotables; durante este tiempo las plantas no habian alcanzado un desarrollo suficiente para formar yacimientos importantes de carbon. Desde la época del Carbon hasta hoi dia no hai período jeológico que no contenga mantos explotables de carbon, como se puede ver de la reseña siguiente en la que hemos incluido los yacimientos de Chile i de las repúblicas vecinas, aunque no sean todos explotables.

Período del Carbon: Los principales yacimientos de Alemania, Inglaterra, Estados Unidos, China, etc.

Período del Permiano: La hoya carbonífera de Döhlen en Sajonia i yacimientos de Turinjia; India Oriental, Africa del Sur i Australia.

Período del Triásico: Los Alpes; Richmond en Virginia; Neuquen en Argentina; La Ternera cerca de Copiapó en Chile.

Período del Jurásico: Fünfkirchen en Hungría; Australia; Gomero cerca de Concepcion i Huimpil cerca de Temuco.

Período del Cretáceo: El campo carbonífero del Deister en Alemania; los carbones de las capas de Laramie en los Estados Unidos; Australia; los yacimientos de la Colombia i del Perú.

Período del Terciario: Las lignitas de Alemania; las lignitas de Arauco.

Período del Cuaternario i de la época actual: Los yacimientos de turbas.

La época principal de la formación de carbones ha sido el período que por esta razón se llama el período del «Carbon»; pero no se ha formado carbon en todas las partes del mundo en ese tiempo. En algunos países faltan completamente las capas correspondientes; en otros, como por ejemplo en Bolivia i en el Perú, se conocen sedimentos de este período, pero no encierran carbon, porque son capas sedimentadas en el mar abierto que nunca pueden ser carboníferas; en otros países, como por ejemplo en la Argentina, han faltado las condiciones necesarias para la formación de yacimientos explotables de carbon.

La existencia de grandes yacimientos de carbon es de suma importancia para el desarrollo de la industria i de consiguiente uno de los principales factores para la riqueza de las naciones. Ofrece, pues, gran interés conocer la repartición de los yacimientos mas importantes i de la cantidad de este valioso mineral segun los diferentes países. En seguida damos una reseña, tomada de un estudio presentado al último Congreso Internacional Jeológico celebrado en el Canadá (1):

(1) Tomado de Dr. O. Stutzer: Kohle Berlin 1914. p. 308 ss. Segun *The coal resources of the world*. Toronto, 1913.

LAS PRINCIPALES EXISTENCIAS DE CARBON DEL MUNDO

(Millones de toneladas)

	Antracita	Hulla	Lignita	Total
Estados Unidos..	19 684	1 955 521	1 863 452	3 838 657
Canadá.....	2 158	283 661	948 450	1 234 269
China.....	387 464	607 523	600	995 587
Alemania.....		409 975	13 381	423 356
Inglaterra.....	11 357	178 176	189 533
Siberia.....	1	66 034	107 844	173 879
Australia.....	659	132 250	32 663	165 572
India.....		76 399	2 602	79 001
Rusia europea....	37 599	20 849	1 658	60 106
Austria-Hungría.....		41 095	18 174	59 269
Africa del Sur....	11 660	44 540	56 200
Francia.....	3 271	12 680	767	17 583
Bélgica.....		11 000	11 000

La producción anual de carbon no tiene siempre relaciones con las riquezas de carbon existentes en los países, porque una gran producción requiere un elevado desarrollo de la cultura i de la industria de un país. Así la producción de la China queda mínima en comparación con las enormes riquezas que encierra su suelo. Bélgica, en cambio, que tiene sólo poco mas del uno por ciento del carbon existente en la China, produce casi dos veces mas que aquel país. La tabla siguiente muestra la producción de carbon de los países principales en el año 1912:

	Mil toneladas
Estados Unidos (1).....	455 720
Alemania.....	259 434
Inglaterra.....	257 136

(1) Producción del año 1911.

	Mil toneladas
Austria-Hungria (1).....	49 089
Francia.....	41 308
Rusia.....	23 197
Bélgica.....	22 983
Japon.....	17 633
India.....	14 942
China.....	13 000
Canadá.....	12 102
Australia.....	10 044

II. Las teorías acerca del origen del carbon

Largo tiempo han diverjido mucho las teorías que tratan de explicar la formación de los carbones de piedra. Ya en el de 1592, Balthasar Klein suponía que el carbon se hubiera formado por trasformacion de la madera. Esta teoría, que, aunque con ciertas modificaciones, hoi dia se considera como la única razonable, desde esa fecha nunca ha desaparecido completamente. Mencionamos de paso algunas de las teorías posteriores en parte mui absurdas. Como relicto de la edad media quedaba aun durante varios siglos la idea de que los fósiles vegetales, lo mismo que las petrificaciones de conchas, peces etc., hubieran tenido su origen en ciertas semillas subterráneas. Al fin del siglo XVIII, otros explicaron el carbon como producto de cenizas volcánicas trasformadas.

La primera prueba científica de que el carbon se ha formado de restos vegetales fué dada por *W. Hutton* (1833) *H. F. Link* (1838). Por investigaciones microscópicas estos sabios lograron descubrir restos de tejidos vegetales en el carbon mismo. Estos tejidos se encontraron en una pasta amorfa i su aspecto era mui parecido a muestras tomadas de una turba moderna.

(1) Producción del año 1911.

a) LA TRASFORMACION ARTIFICIAL DE MATERIAS VEGETALES EN CARBON.

(*Experimentos del laboratorio*)

Pocos años mas tarde se logró transformar artificialmente madera i restos vegetales en una sustancia mui parecida a los carbones fósiles. *Göppert* calentó pedazos de plantas mezclados con agua i los dejó durante varios meses a una temperatura de 60 a 80°. El resultado era una masa parecida a una lignita. Los experimentos mas modernos han sido ejecutados por el sabio aleman *Fr. Bergius* (1). Incluyó pedazos de turba i otros de celulosa en aparatos que llenó con agua, hasta cubrir los pedazos. Despues cerró los aparatos herméticamente i los calentó hasta 300° i mantuvo esta temperatura durante varias horas, hasta tres dias. El resultado era una masa negra porosa, que segun análisis era mui parecida a un *carbon de grasa* de las minas de Westfalia. Los gases que se habian formado durante el proceso químico, consistían principalmente en ácido carbónico i en un poco de metan (CH_4). Miéntras mas alta era la temperatura, mas metan se formaba. Los mismos experimentos ejecutados bajo presion, tuvieron como resultado una masa negra i dura con un contenido mas elevado de carbono.

b) PROCESOS QUÍMICOS QUE INTERVIENEN EN LA FORMACION DEL CARBON DE PIEDRA.

1) *La trasformacion de materias vegetales en turba*

Procesos químicos mui parecidos a los del laboratorio se desarrollan tambien en la naturaleza, donde han sido estudiados con mayor detenimiento por el sabio paleobotánico *Potonié*, (2) profesor de la Escuela de Ingenieros de Minas

(1) *Fr. Bergius*.—Die Anwendung hoher Drucke bei chemischen Vorgängen und eine Nachbildung des Entstehungsprozesses der Steinkohle-Halle, 1913.

(2) *H. Potonié*.—Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt, Berlin 1910.

de Berlin. Potonié distingue varios procesos de descomposicion de materias vegetales. Una *descomposicion total* se produce cuando las materias vegetales i, lo mismo, las animales, están espuestas al oxígeno del aire mismo o del aire contenido en el agua de un rio o de una laguna. En este caso se forman principalmente ácido carbónico i agua; pero, fuera de algunas sustancias inorgánicas contenidas en las plantas, no queda nada de éstas al fin de la descomposicion. Solo pocas sustancias orgánicas, como la resina, pueden resistir a la descomposicion i, bajo condiciones favorables, formar yacimientos intercalados i conservados en sedimentos de una época remota; tal resina petrificada es el ámbar, que se explota en gran escala en el noreste de Alemania.

Una *descomposicion incompleta* se produce en el caso de que no haya oxígeno suficiente para trasformar todas las materias vegetales. El producto es el *húmus* que da el color negro a las tierras vegetales.

Una *putrefaccion* tiene lugar en caso de ausencia completa del oxígeno, cuando las materias vegetales están cubiertas por las aguas estancadas de un pantano que contienen mui poca cantidad de aire. Químicamente hablando, esta putrefaccion puede llamarse una destilacion lenta, en que se forma principalmente metan (CH_4) i otros gases como H , NH_3 , H_2S , etc. El resultado es un enriquecimiento de la materia vegetal en carbono i tambien en nitrógeno.

En la formacion de las turbas, tal como la podemos observar en los pantanos actuales, los restos vegetales muertos primero sufren una descomposicion incompleta; pero pronto las plantas que siguen creciendo encima de las muertas, impiden el acceso del oxígeno i empieza la putrefaccion. La turba madura, que es el resultado de este proceso, es una masa mui blanda. Examinada bajo el microscopio, muestra una pasta homojénea que encierra restos de tejidos vegetales que aun han conservado su textura. El aspecto es el mismo que el del carbon examinado por *Link*, mencionado mas arri-

ba. El ablandamiento de las materias vegetales causado por la putrefaccion esplica cómo en las turbas modernas, pocos decímetros debajo de la superficie, pueden encontrarse troncos de árboles aplastados i comprimidos hasta pocos centímetros de grueso. Tales troncos aplastados son frecuentes en las capas mui nuevas del Valle Lonjitudinal de Chile; los encontré en el salto del río Laja, en Nacimiento i otros puntos.

2) *La trasformacion de la turba en las diferentes clases de carbon i los factores que favorecen este proceso*

Con la formacion de la turba madura no cesan las alteraciones, pero cambian de naturaleza. A causa de la ausencia del aire i otros ajentes, empieza una autodescomposicion del combustible, que podemos llamar una *carbonizacion lenta* (*Inkohlung* de *Potonié*). La turba, e igualmente la lignita i la hulla, no consisten de carbono puro mezclado con otras sustancias, sino que representan combinaciones químicas de los elementos: carbono, hidrójeno i oxígeno. Por la carbonizacion se enriquece el combustible en carbono i pierde en oxígeno e hidrójeno, que salen como agua, ácido carbónico i metan; este último es el peligroso *gas grisú*. Los resultados de estos procesos químicos son una serie de combustibles diferentes cuyos representantes principales llevan nombres especiales, sin que sea posible fijar límites exactos. La tabla siguiente (1) muestra la composicion química de tales combustibles i la transicion paulatina de uno al otro:

	C	H	O	N
	%	%	%	%
Madera.....	49—50	6	43—44	1
Turba.....	50—64	4,7—6,8	28,6—44,1	0—2,6
Lignita.....	50—75	4—8	12—37	

(1) Segun *Dannenberg*: *Geologie der Steinkohlenlager*. I. p II.

(El porcentaje se ha calculado para sustancias libres de cenizas).

Hulla.....	80—85	5—6	8,3—14,5
Hulla seca...	91	4	5
Antracita....	91—96	1,2—4	2,8—4,5

Como se ve en esta tabla, el contenido en carbono sube paulatinamente desde la madera hasta encontrar su máximo en la antracita, mientras el contenido en oxígeno, hidrógeno i nitrógeno bajan.

Segun nuestros conocimientos actuales podemos afirmar que a esta transición química corresponde también una transformación de la turba en lignita i de ésta en hulla. Solo la transformación de la hulla en antracita es negada por algunos autores que, fundándose en la coexistencia de hulla i antracita en el mismo manto de Gáles, creen en una diferencia original de la sustancia vegetal que ha formado estas dos clases de carbones.

Contemplando i comparando someramente la repartición de los combustibles en las capas geológicas, se puede decir que las lignitas pertenecen a las épocas más modernas, principalmente al terciario, mientras la hulla es más antigua, pues se halla principalmente en el paleozóico. Podría parecer, pues, que el tiempo fuera un factor principal en la transformación del carbono. Pero se conocen muchas i grandes excepciones. Así las capas jurásicas de Gomero, situado en el valle del Biobio entre San Rosendo i Concepción, encierran mantos delgados de un carbono antracitoso con 88% de carbono.

En la Rusia central se hallan grandes yacimientos de carbono que pertenecen al período del Carbon, a la misma época que todos los grandes yacimientos de hulla de Alemania. Pero por su composición química i su estado físico, los carbones de la Rusia central mejor podrían llamarse lignitas, mientras más al sur, en la hoya carbonífera del río Donez, el carbono perteneciente al mismo período, es una verdadera hulla, en parte transformada en antracita. La causa de esta diferencia se puede averiguar fácilmente compa-

rando la jeolojía de las dos rejiones carboníferas. La hoya del rio Donez ha sido plegada fuertemente i la gran presion sufrida por los yacimientos de carbon los ha trasformado en hulla i hasta en antracita. En cambio, en la Rusia central falta todo plegamiento de las rocas carboníferas, que ocupan una posicion casi horizontal. Tampoco existen ahí grandes masas de capas superpuestas al carbon que pudieran haber sustituido en parte la presion del plegamiento. De consiguiente la lignita no podía trasformarse en hulla.

Tambien los carbones de la provincia de Arauco pueden servir como ejemplo; segun su composicion química i segun su edad son verdaderas lignitas, pero tienen un aspecto parecido a la hulla por su textura bastante densa. Las lignitas de Alemania que tienen la misma edad, son mucho mas blandas i menos compactas que las lignitas chilenas, porque les falta el gran espesor de capas superpuestas i porque no han sufrido movimientos tectónicos como los carbones chilenos.

Tomando en cuenta las escepciones que acabamos de mencionar i comparando la reparticion de las diferentes clases de carbon en las épocas jeológicas, podemos decir que no es el tiempo el factor principal que trabaja en la transformacion de los carbones, sino la presion. Pero ya que las capas mas antiguas casi siempre han sido plegadas, tambien con mayor frecuencia encierran carbon de contenido elevado en carbono.

Otro factor importante en la trasformacion de los carbones es el calor. En la costra de la tierra aumenta el calor junto con la mayor hondura, de modo que los mantos inferiores de carbon estan espuestos a una temperatura mas alta que los superiores. El resultado es una aceleracion del proceso de la carbonizacion en los mantos inferiores, que se manifiesta en un contenido mas alto en carbon en comparacion con los mantos superiores. Este fenómeno conocido desde mucho tiempo en los campos carboníferos de Alemania,

se puede observar tambien en las minas de Arauco, como lo demuestran los análisis siguientes: (1)

Manto Huitrero	50,6 % de carbon fijo.
Manto Chico	56,8 % » » »

El manto *Huitrero* es el manto superior del campo carbonífero de Lebu, mientras el manto *Chico* se halla a unos 150 mts. debajo del primero. De consiguiente no solo tiene una mayor edad, la que puede calcularse en varios miles de años, sino que tambien se encuentra a mayor hondura con una temperatura mas elevada i con una presion mas grande, que hicieron acelerarse la carbonizacion del manto *Chico* en comparacion con el manto *Huitrero*. El resultado es un contenido mas elevado en carbono del manto *Chico* (2).

(1) Tomados A. E. Nogués. *La formación lignitifera del Sur de Chile*. Bol. Insp de Joegr. i Minas, 1907, p. 342, (el porcentaje se refiere al carbon sin ceniza).

(2) En un trabajo leido en el «Congreso Chileno de Minas i Metalurjia», se trató de fijar la posicion de los diferentes mantos de carbon conocidos en los diferentes afloramientos i minas de Arauco i Concepcion, solo con miramiento al porcentaje que tenian los carbones en materias volátiles. Tal procedimiento es enteramente impracticable, porque el contenido en sustancias volátiles, aunque jeneralmente obedece a la lei arriba descrita, depende de varios factores locales i puede sufrir grandes variaciones aun en el mismo manto.

Segun hemos visto anteriormente, la presion tectónica tiene gran influencia en la trasformacion de los carbones; esta presion tectónica puede haber sido mui variable en diferentes hoyas carboníferas, mui cercanas (véase J. Brügger, Primer informe sobre Espl. jeolój. de la Zona Carbonif. p. 56). Otros factores que favorecen un enriquecimiento de los carbones en carbon fijo son las fallas i grietas, porque dan salida a los gases formados en la trasformacion del manto de carbon. Tambien rocas porosas superpuestas al manto de carbon tienen el mismo efecto, mientras arcillas impiden tal salida de las materias volátiles.

De consiguiente, no se debe atribuir demasiada importancia a la composicion química del carbon de diferentes rejiones, i para determinar la posicion que le corresponde en el perfil de las capas carboníferas, solo debemos valernos de las observaciones jeológicas.

Un aumento considerable del calor, lo provocan intrusiones i erupciones de rocas volcánicas; pero la influencia de tales factores se limita jeneralmente a las zonas mas vecinas, conocidas con el nombre «zonas de contacto». En el cerro Meissner en Alemania un filon de basalto ha perforado un yacimiento de lignita que alrededor del filon se ha transformado en un carbon antracitoso. Las alteraciones de la lignita sufridas por el contacto, se pueden observar hasta una distancia de 40 m. del filon eruptivo. En Groenlandia, Inglaterra, Méjico i el Japon se conocen yacimientos de carbon que en las zonas de contacto de masas eruptivas, han sido trasformados en antracita i hasta en grafito. En Chile, hasta ahora no se conocen tales trasformaciones de contacto en los yacimientos de carbon. El Terciario carbonífero no contiene rocas eruptivas i los granitos de la Cordillera de de la Costa que forman los cerros alrededor de Concepcion, son mas antiguos que las capas carboníferas.

Cierta influencia en la calidad del carbon es debida a las capas que encierran los mantos. Rocas porosas i, del mismo modo, muchas grietas que atraviesan las capas carboníferas, facilitan la salida de los gases procedentes del proceso de la carbonizacion i provocan un enriquecimiento del combustible en carbono.

Naturalmente los mantos de carbon sufren grandes alteraciones en sus afloramientos en la superficie. Estas se deben a una oxidacion del carbon al contacto con el aire. Por este proceso se empeora el carbon, perdiendo en carbono i enriqueciéndose en cenizas. Cuando esta oxidacion se produce mui rápidamente, el manto puede encenderse. Tales inflamaciones espontáneas son mas frecuentes abajo, en los frontones de la mina. En años anteriores, estas inflamaciones se atribuian solamente a la oxidacion de la piritita contenida en el carbon, pero está comprobado que la oxidacion del carbon mismo puede provocar incendios.

c). LAS PLANTAS DE LAS CUALES SE FORMA EL CARBON

La circunstancia de encontrarse frecuentemente petrificaciones de conchas marinas encima de los mantos de carbon, ha hecho surjir la teoría de que los yacimientos de carbon tendrian su orijen en acumulaciones de plantas marinas, las algas. Tales acumulaciones de algas no son raras en las playas actuales del mar. Pero estudios paleobotánicos de la flora contenida en las capas que encierran el carbon, han demostrado que ésta se componía esclusivamente de plantas de tierra firme. Hasta ahora se conoce un solo mantito chico del período Devoniano que parece tener su orijen en algas marinas, por encontrarse muchas algas petrificadas en las capas superiores. Este yacimiento sin importancia práctica se halla en el oeste de Alemania, en los cerros de la *Eifel*.

Observaciones que esplican la presencia de fósiles marinos en las capas superpuestas a los mantos de carbon, se pueden hacer en muchas partes de las costas actuales del mar. Así en Alemania, en la costa del mar Báltico se conocen numerosos yacimientos submarinos de turba compuesta exclusivamente de plantas de tierra firme. Las arenas que cubren estos yacimientos submarinos, naturalmente contienen las conchas del mar. Otros yacimientos de turbas sumergidas han sido descritos de la rejion de Morlaix, en la Bretagne, i de Charleston en South Carolina, en los Estados Unidos. Los yacimientos submarinos de turba, se esplican por un hundimiento de la costa. En el párrafo III b, volveremos a discutir esta cuestion interesante.

d) ALOTOCNÍA I AUTOCTONÍA DE LOS YACIMIENTOS DE CARBON

Autoctonía de un manto de carbon significa que el carbon se ha depositado del modo como se forma la turba en los pantanos actuales, lo que quiere decir que el carbon proviene de las plantas que han crecido en el mismo lugar donde se

han depositado despues sus restos muertos. Aloctonía significa que las plantas despues de muertas han sufrido un transporte largo o corto antes de depositarse; las plantas no han crecido en el lugar donde mas tarde se ha formado el manto de carbon.

1) *Aloctonía de los yacimientos de carbon*

Yacimientos alóctonos modernos de materias vejetales no son raros. Ya hemos mencionado en el capítulo anterior las acumulaciones de algas marinas en las playas. Otros yacimientos alóctonos son las acumulaciones de troncos de árboles que se hallan en los valles de los rios que salen de rejiones boscosas. Tales yacimientos se pueden ver en una gran parte de los rios chilenos, donde a veces alcanzan dimensiones gigantescas. Las acumulaciones de madera se hallan solo en parte en el lecho mismo del rio; la mayor parte han sido arrastradas durante los creces de los rios i se encuentran depositadas en las vegas vecinas al rio, donde están espuestas al aire, lo que, segun hemos visto, significa una descomposicion completa de la materia vegetal. Tambien los troncos depositados en el lecho mismo del rio se descomponen en el agua corriente, rica en oxígeno del aire. La madera tapada por las arenas i rodados del rio puede conservarse, pero siempre se trata de pedazos aislados encerrados por capas de arenas, de modo que no se forma ningun manto regular de carbon. Además, la forma exterior de los mantos de carbon que se estienden por miles i miles de kilómetros cuadrados sufriendo solo variaciones de poca importancia, no tiene ningun parecido con depósitos fluviales.

Para explicar la gran estension de los mantos de carbon, los defensores de la aloctonía suponen que los rios hayan llevado los troncos, las hojas i otras partes de las plantas hasta llegar a una laguna en cuyas aguas tranquilas se depositaran las materias vejetales. Se ha tratado de demostrar el valor de esta teoría por el estudio prolijo de algunos yaci-

mientos de carbon en el «Plateau Central» de Francia, ejecutado por el sabio frances H. Fayol (1). La teoría del orijen alóctono del carbon ha sido aceptada especialmente por los jeólogos franceses; así el eminente sabio Lapparent la defiende en su renombrado testo de jeología (2). Ya que este libro fundamental es mui conocido en Chile, debemos discutir esta cuestion mas estensamente, basándonos en la esposicion de Lapparent.

Segun Fayol, la hoya carbonífera de Commentry se habria formado en una laguna antigua; los esteros i rios que desembocaban en ésta, aportaron juntos con sus rodados, tambien los troncos, ramos i hojas de plantas que crecian en las faldas de sus cursos superiores. Al llegar a la laguna, los rodados se depositaron inmediatamente, a causa de su gran peso específico, miéntras que las materias vejetales flotaban durante algun tiempo en la laguna ántes de hundirse. De este modo se separaban los sedimentos inorgánicos de los orgánicos.

Pero la separacion de las dos diferentes clases de sedimentos no puede producirse tan fácilmente. El barro fino trasportado por los rios queda largo tiempo suspendido en el agua tranquila de la laguna i puede llegar a depositarse en toda la estension de ésta. Las materias vejetales se han llenado de agua ya durante su trasporte en el rio, aumentando así su peso específico; los pedazos grandes, como los troncos, se depositarán mui rápidamente cerca de la desembocadura junto con los rodados, i solo las hojas pueden llegar hasta distancias un poco mas grandes de ésta i se depositarán mezcladas con el barro fino. Un manto regular de carbon puro no se puede formar de este modo. Ademias, se debe tomar en

(1) *H. Fayol*, Etudes sur le terrain houiller de Commentry. Lithologie et stratigraphie. Bull. Soc. Ind. Minér. 2.^o sér. XV. p. 543 i ss. 1887.

H. Fayol, Résumé de la théorie des deltas et histoire de la formation du bassin de Commentry. Bull. Soc. Géol. Franç. 3.^o sér. XVI. p. 968-978. 1890.

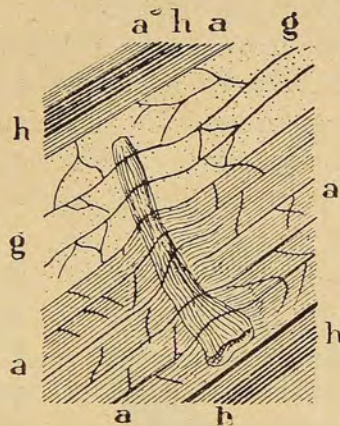
(2) *A. de Lapparent*. Traité de Géologie. V. Edit. 1906, p. 978 i ss.

cuenta que el agua de las lagunas contiene bastante cantidad de aire que causa una descomposicion completa de las materias vegetales.

Fayol ha comprobado la existencia de un antiguo delta de un rio cuyos sedimentos cubren el manto principal de carbon. Pero los deltas de rios tambien son mui apropiados para la formacion de pantanos boscosos de gran estension (1). Ademas el gran número de troncos petrificados que se hallan en las capas carboníferas de Commentry i que en parte han conservado su posicion orijinal hasta hoi dia, prueba que el carbon de Commentry se ha formado en un pantano antiguo. La indicacion de Fayol de que solo uno de cien troncos ha conservado su posicion vertical, no habla en contra porque la mayor parte de los árboles viejos caen un dia desarraigados por un temporal.

Tampoco la estratificacion del carbon de Commentry habla en favor de una sedimentacion de las materias vegetales en el agua, pues conocemos numerosos yacimientos de turba moderna que

son sin duda alguna autóctonos, i muestran la estratificacion. Esta es una *foliacion* (2) de la turba causada por la presion.



- a - arcilla pizarrosa
- h - hulla i esquita betuminosa
- g - arenisca

FIG. N.º 1.—Tronco petrificado observado en Anzin.
(Segun Lapparent).

(1) Compárese la fig. n.º 5 que contiene los yacimientos de turba existentes en Holanda; todos estos se hallan en el gran delta del Rhin i son sin duda alguna de orijen autóctono.

(2) *Foliacion* llamamos una separacion de una capa en hojas que no

Lapparent, en su testo de jeología, en la página 979, trae una figura que reproducimos en la fig. N.º 1.

Un tronco petrificado pasa en posicion vertical por capas de arcilla pizarrosa. Alrededor de este tronco estas capas se elevan un poquito. Fayol i Lapparent esplican esto por un remolino de agua corriente alrededor del tronco; este remolino habria hecho depositarse mayor cantidad de sedimentos alrededor del tronco. En realidad, los remolinos del agua corriente producen el efecto contrario alrededor de los obstáculos, como p. ej. las piedras: escavan una fosa alrededor de las piedras, como se puede observar en cualquier rio de Chile que lleva bloques grandes en su lecho.

La esplicacion del fenómeno representado en la fig. 1 es otra. El tronco petrificado forma una masa dura de piedra

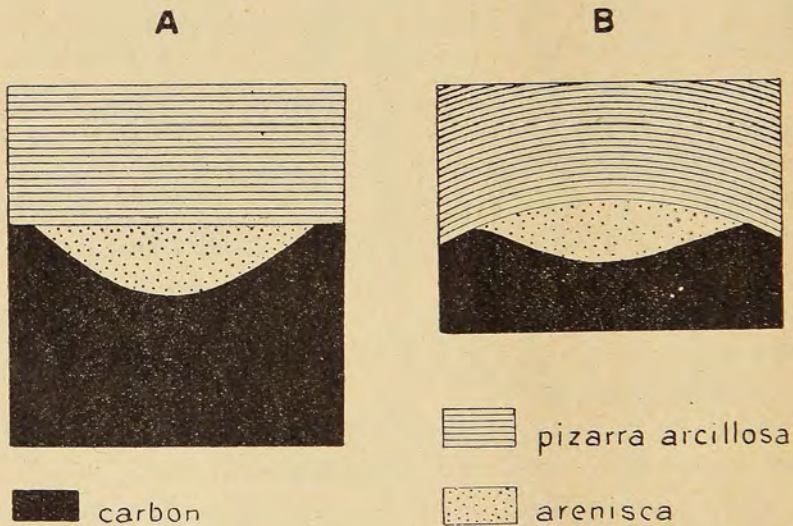


Fig. N.º 2.—Intercalacion de una arenisca en un manto de carbon.

que existia ya durante la sedimentacion de las capas que lo encierran. Mas tarde las arcillas blandas han sido aplastadas

corresponde a la estratificacion que proviene de la sedimentacion orijinal, sino que es causada por la presion.

por la presión de las capas superpuestas, pero el tronco petrificado no podía comprimirse e impidió también la compresión de las partes adyacentes de la arcilla. La figura siguiente (1) muestra el mismo fenómeno, pero más claro.

La fig. 2 muestra una intercalación de arenisca en un manto de carbón depositado por un arroyo que cruzaba el yacimiento primario de turba arrastrándola e depositando en su lugar las arenas. La fig. 2-A, da un corte de la estratificación original. Luego por el peso de las capas superpuestas se comprimió la turba, digamos en la mitad de su espesor original. Un corte trazado por la intercalación de la arenisca, contiene solo la mitad del combustible compresible que un corte sin la intercalación. De consiguiente la presión era menor en el corte que pasa por el centro de la intercalación e aumentaba hacia los dos lados de ésta. El resultado representado en la fig. 2-B, es la elevación del límite superior del manto de carbón hacia la intercalación de arenisca. Como se vé, este fenómeno es el mismo que la irregularidad descrita por Fayol e Lapparent.

No obstante las objeciones hechas en los párrafos anteriores, no queremos negar absolutamente la existencia de yacimientos de carbón de origen alóctono, pero estos son muy raros e de escaso valor práctico. Los indicios más característicos para tales yacimientos son: escasa extensión horizontal, espesor muy variable e que cambia bruscamente, e un contenido elevado en cenizas. Entre los innumerables yacimientos de hulla e lignita que existen en Alemania, hai solo dos que se consideran como de origen alóctono. Para demostrar la escasa pureza de tales carbones, mencionamos que en uno de ellos se explota carbón hasta con 30% de ceniza, empleado en las calderas del establecimiento mismo.

(1) La fig. B segun *G. H. Ashley*, tomada de *O. Stutzer: Kohle*, p. 115. Berlin, 1914.

2) *Autoctonía de los yacimientos de carbon*

Como hemos visto en el párrafo anterior, la mayoría de los yacimientos de carbon no pueden ser de origen alóctono. La autoctonía se puede comprobar por varios indicios. El principal es la existencia de un suelo de raíces (*Wurzelboden*) debajo de los mantos de carbon. Este no falta casi nunca i puede observarse en las minas de Arauco debajo de todos los mantos de carbon. Consiste jeneralmente en arcilla, a veces un poco arenosa, llena de restos de raíces en su posición orijinal; las raíces se han conservado hasta en sus partes mas finas, que salen radialmente de la raíz principal. Claro está que no pueden haber sufrido un transporte sin que se destruyera la posición de las raíces. Los mismos suelos antiguos de raíces se conocen tambien debajo de los yacimientos de carbon de Alemania, Francia e Inglaterra. En las minas de lignita de Alemania, que se esplotan a cielo abierto, el suelo de la parte esplotada está cubierto por un sinnúmero de troncos de grandes árboles que aun están en contacto con sus raíces. La mayor parte de estos árboles son *Taxodium distichum* i *Sequoia Langsdorffi* cuyos troncos alcanzan diámetros hasta de 4 metros. La primera de estas plantas es uno de los árboles mas característicos de los actuales pantanos boscosos de los Estados Unidos.

Otro indicio de la autoctonía es la conservación de las partes mas delicadas de plantas en las capas inmediatamente superpuestas al carbon, porque estas no pueden soportar ningun transporte sin ser destruidas.

e) ¿CUÁNTO TIEMPO SE NECESITA PARA LA SEDIMENTACION DE LAS MATERIAS VEGETALES QUE HAN PRODUCIDO UN MANTO DE CARBON?

Son mui poco seguras todas las calculaciones que se han hecho acerca del tiempo necesario para la formación de un manto de carbon de cierto espesor. Se ha observado prime-

ro la rapidez con que crece un yacimiento de turba. Pero los resultados de diferentes observaciones varian mucho entre sí. Así un camino hecho por los antiguos romanos en Inglaterra estaba cubierto por 2.40 m de turba i de ahí se ha calculado que en esa parte durante 200 años se han formado solo 30 cm de turba. En cambio en Irlanda se ha observado un caso de un crecimiento de 15 cm de turba por año. De varias observaciones parecidas Ashley (1) ha llegado al resultado de que bajo condiciones normalmente favorables se forman 30 cm de turba en 10 años.

Pero estos 30 cm de turba fresca se disminuyen por pérdida del agua i de sustancias volátiles hasta 3 cm de modo que se necesitan 100 años para la sedimentacion de 30 cm de turba dura i comprimida.

En el proceso de la carbonizacion lenta (*Inkohlung*) por el cual la turba se trasforma en hulla, se perderian otros dos tercios, de modo que 30 cm habrian necesitado para su sedimentacion 300 años i 1 m de hulla 1000 años.

Tomando en cuenta que los carbones de Arauco son todavía lignitas, se puede calcular que un manto de carbon de 1 m de espesor de esta provincia ha necesitado mas o menos 700 a 800 años para sedimentarse en forma de turba.

Pero, como ya hemos dicho, estos cálculos tienen fundamentos mui poco seguros i pueden servir solo para dar una idea aproximada.

(1) *George Hall Ashley: The Maximum Rate of Deposition of Coal. Economic Geology, II. 1907.*

III. La formacion de los carbonos de Arauco

s) LAS CONDICIONES PALEOJEOGRÁFICAS BAJO LAS CUALES SE DEPOSITARON LAS CAPAS CARBONÍFERAS DE LA PROVINCIA DE ARAUCO.

Tanto en los mares actuales como en las lagunas de agua dulce o salada, en los rios i en la tierra firme se depositan lentamente capas de arenas, arcillas, cal, etc. Las capas difieren segun su procedencia i el modo de la sedimentacion. Los cadáveres de los animales muertos se cubren con las arenas o arcillas; los restos duros, como los huesos o las conchas, se conservan i se petrifican. En el curso de los millares de años se deposita estrato sobre estrato; movimientos tectónicos posteriores disturban la posicion primeramente horizontal de los sedimentos i forman montañas. Los ríos cortan sus valles en ellas i en sus faldas afloran los estratos con sus fósiles que forman documentos preciosos para descifrar la historia jeológica del terreno. Por un estudio de los fósiles se puede averiguar si las capas se han formado en la tierra firme o en el mar. Comparando las petrificaciones con las de otros puntos, se puede determinar la edad jeológica. Así se ha comprobado que las capas carboníferas de Arauco tienen la misma edad que las areniscas que encierran los mantos de carbon de Punta Arenas i que afloran en toda la falda oriental de los Andes en la Patagonia. Un estudio comparativo de los fósiles con los de Europa mostró que debemos atribuir el carbon de Arauco a las épocas del Oligoceno superior i Mioceno.

Capas correspondientes al Terciario carbonífero de Arauco afloran a lo largo de toda la costa chilena, desde la isla de Chiloé hasta Valparaiso. Las petrificaciones encerradas pertenecen a jéneros de conchas cuyos representantes actuales

viven en mares poco profundos, especialmente en las zonas cercanas a la costa. De consiguiente el mar terciario tenía su costa oriental en la falda occidental de la Cordillera de la Costa de Chile. Esto lo prueba tambien la circunstancia de que las capas inferiores del terciario de Arauco consisten en areniscas de grano grueso i conglomerados que se apoyan en las rocas cristalinas de la Cordillera de la Costa; estas capas inferiores del terciario son mui parecidas a ciertas acumulaciones de arenas i bloques en la costa actual.

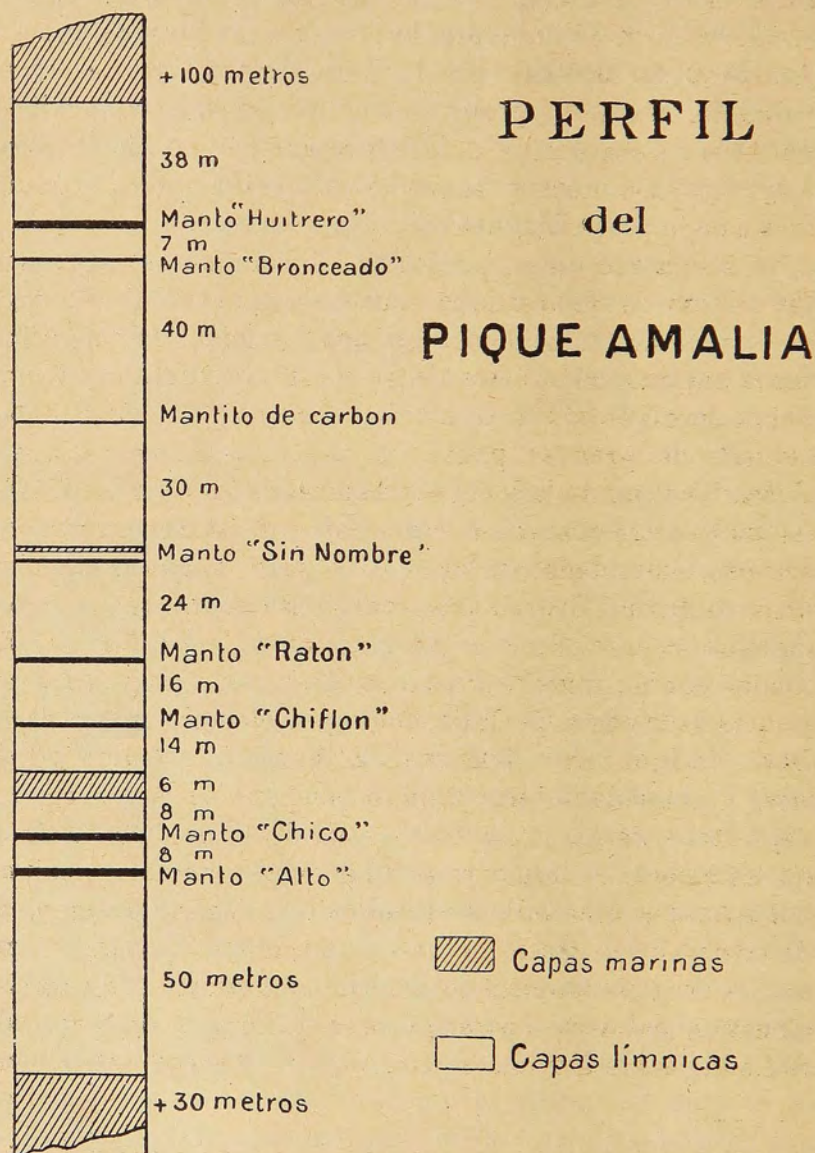
En seguida vamos a estudiar las condiciones en que se han sedimentado las diferentes rocas del Terciario de Arauco, fijándonos en el perfil del pique Amalia de Lebu que, junto con las capas espuestas en la falda vecina, tiene unos 400 m de largo. La figura N.º 3 representa este perfil un poco simplificado.

Hácia abajo el perfil no alcanza el limite inferior del terciario, sino que empieza con unos 30 m de areniscas gris-verdosas que contienen una fauna marina de conchas, caracoles i camarones petrificados. Los fósiles pertenecen a los jéneros *Fusus*, *Turritella*, *Venus*, *Nucula*, etc. Son habitantes del mar poco profundo. Tambien los frecuentes restos de madera carbonizada prueban que las areniscas se han depositado en un mar poco profundo i mui cerca de la tierra firme, de la que procedia la madera arrastrada por los rios.

En estas areniscas llama la atencion la presencia de numerosos nódulos duros que consisten de cal i contienen en el centro casi siempre una petrificacion de una concha o un camarón. La formacion de estos nódulos, que se llaman «concreciones» en jeología, se esplica como sigue. Los cadáveres de los animales muertos se descomponian formándose durante este proceso $(\text{NH}_3)_2\text{CO}_3$ que precipitó el yeso (CaSO_4) disuelto en el agua del mar en forma de cal (CaCO_3). La cal se depositó alrededor del animal muerto, cimentando la arena suelta i trasformándola en una piedra dura.

Con el tiempo retrocedió el mar, sea a causa de un levantamiento de la tierra firme, o sea porque los rios que baja-

Figura N°3



ban de la Cordillera de los Andes i pasaban por la Cordillera de la Costa, habían llenado el mar, poco profundo, con sus masas de rodados i arenas. La Cordillera de la Costa debia haber formado un lomaje mui suave a juzgar por los sedimentos depositados por los rios, que aportaron principalmente arenas de grano fino a la rejion de Arauco. Si la Cordillera de la Costa hubiese formado un cordon de cerros altos, los sedimentos terciarios deberian contener mucho mas conglomerados gruesos.

La arena acarreada por los rios forma los 50 m siguientes encima de las areniscas marinas del perfil. En ese tiempo una ancha planicie costanera se estendia delante de la tierra antigua, compuesta de las rocas cristalinas que forman hoi la Cordillera de la Costa. La planicie mui baja estaba cubierta de grandes pantanos boscosos mui parecidos al *Dismal Swamp* de la costa suroriental de los Estados Unidos. El límite entre el mar i la tierra baja consistia en un *ribazo* (1) arenoso acumulado por las olas del mar, al que se unía una zona de dunas. Este ribazo estancó las aguas de los ríos en lagunas grandes, pero de poca hondura. Tales lagunas, formadas por las mismas causas, existen hoi dia en diferentes puntos de la costa de Chile, como por ejemplo la laguna del Budi, de Lleulleu i otras mas. El barro fino traído por los rios, que quedaba largo tiempo suspendido en el agua, se depositaba como arcilla en el fondo de la laguna, mientras de las riberas se adelantaba una rica vejetacion palustre hasta ocupar casi todo el espacio de la laguna antigua, que de este modo se trasformaba en un inmenso pantano boscoso. La flora era tropical como lo demuestran las petrificaciones de palmeras i otras plantas que segun un prolijo estudio del sabio aleman *H. Engelhardt* (2) viven actualmente

(1) Entendemos por *ribazo* un cordon bajo de arenas acumulado por las olas a lo largo de la playa.

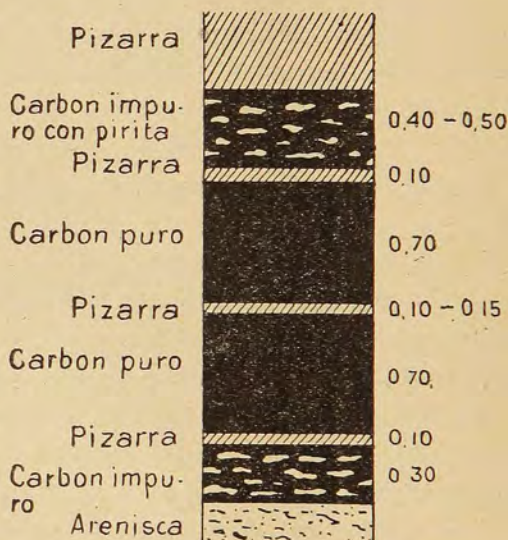
(2) *H. Engelhardt*—Über Tertiärpflanzen aus Chile. Abhandlungen der Senckenbergischen Naturf. Gesellsch. Frankfurt, 1891.

en los bosques tropicales del Perú oriental, del Brasil i de Venezuela. Las hojas i ramos, los troncos desarraigados por los temporales, que caian al suelo, fueron cubiertos por las aguas pantanosas i se trasformaron en turba.

El carbon del manto Alto de Lebu se apoya directamente en las areniscas subyacentes, pero en otras partes las primeras plantas crecian encima de la arcilla depositada en la laguna i sus raices se han conservado en la arcilla refractaria que forma el piso del carbon. El manto Alto es el manto inferior de la rejion carbonífera de Lebu i tiene el perfil siguiente:

Las intercalaciones de esquitas arcillosas en el perfil del manto Alto se deben a inundaciones ocasionales del pantano. La causa de estas pueden haber sido lluvias torrenciales en los nacimientos de los rios que atravesaron el pantano o tapaduras temporarias de las desembocaduras de estos rios. El barro fino trasportado por las aguas se mezclaba con las materias vegetales i se formaron de este modo esquitas carboníferas o esquitas arcillosas segun la proporcion entre los sedimentos inorgánicos i orgánicos.

Llegamos al fin del tiempo en se ha formado el primer manto de carbon. Cambios en el nivel de la costa hacen reaparecer la laguna; se depositan arcillas arenosas con mu-



Escala 1:50

FIG. N.º 4.—Manto Alto del Pique Amalia.

cha mica que proviene de la destruccion de las esquitas micáceas de la tierra antigua en el oriente. El color negro indica una fuerte mezcla con sustancias vegetales. Así se forman unos 8 m de arcillas arenosas hasta que los bosques palustres recuperan el terreno perdido. De sus restos muertos se forma el manto Chico en las mismas condiciones que anteriormente el manto Alto.

Encima del manto Chico siguen unos 28 m de areniscas sin carbon. Los rios han hecho avanzar sus deltas i rellenado la laguna con sus arenas; la estratificacion irregular de éstas indica su sedimentacion en el agua corriente; trozos de madera arrastrados por los rios se incluyen en las arenas i quedan conservados como pedazos irregulares de carbon. La capa intercalada de 6 m del perfil (fig N.º 3) contiene fósiles marinos, lo que indica que durante algun tiempo el hundimiento de la tierra se ha efectuado demasiado rápidamente para ser compensado por la sedimentacion: el mar inundó las rejiones bajas del continente.

Del mismo modo como lo hemos descrito anteriormente, alternan con mantos de carbon i arcillas unos 150 m de areniscas límnicas, (1) sedimentadas por los rios, en parte probablemente por antiguas dunas que pasaron por la rejion. Cierta interes ofrecen las capas superpuestas al manto *Sin Nombre* que consisten en arcilla pizarrosa que, segun hemos visto, es un sedimento de una laguna. Encima de esta arcilla se halla una capa de 0.50 m de arenisca mui fina con fósiles marinos. Parece que el ribazo que separaba del mar las aguas de la laguna de agua dulce, fué destruido a causa de un temporal i el mar con su fauna del agua salada entró por algun tiempo a la laguna.

Unos 30 m encima del manto superior, *Huitrero*, se acaban las capas carboníferas; el mar inunda definitivamente la antigua planicie costanera. Pero el cambio no era brus-

(1) *Límnicos* se llaman los sedimentos depositados en lagunas de agua dulce.

co; las capas inferiores de los estratos que forman la parte superior del Terciario, consisten en una alternación de areniscas límnicas i marinas, lo que indica una lucha tenaz entre los dos elementos en la que salió vencedor el mar.

Las capas superiores del Terciario carbonífero de Arauco tienen un espesor de unos 200 a 300 m. Contienen una fauna muy rica en fósiles, que se distingue muy poco de la fauna debajo del manto inferior de carbon. Las capas de la sección superior del Terciario se han depositado según sus fósiles i la calidad de los estratos en un mar más abierto i un poco más profundo que el mar donde se formaron las areniscas marinas con que empieza el perfil del pique Amalia. Sin embargo la profundidad no habrá excedido unos 200 m de hondura.

b). EL HUNDIMIENTO DE LA TIERRA I LA FORMACION DEL CARBON

Según hemos visto en el capítulo anterior, los 240 m de capas centrales del perfil del pique Amalia, las cuales encierran los mantos de carbon, se han depositado en la tierra firme a una altura de pocos metros sobre el nivel del mar. Esto se puede explicar solo por la suposición de que la costa se hundía paulatinamente durante este tiempo i de que la sedimentación de las arenas i otras capas compensaba en cada momento el efecto del hundimiento. Las pocas intercalaciones de capas marinas en la serie límnic, ya las hemos explicado por un hundimiento excesivo en comparación con la acumulación de los sedimentos.

A la primera vista este fenómeno puede aparecer sorprendente i excepcional. Pero volvemos a encontrarlo en todas las regiones carboníferas de la tierra. En Alemania, por ejemplo, el espesor de las capas que encierran los numerosos mantos de hulla es de unos 3000 m; todos estos estratos han sido depositados cerca del nivel del mar, lo mismo que en Arauco. Hubo pues un hundimiento paulatino de 3000 m com-

pensado siempre por la sedimentacion de las capas carboníferas i el carbon mismo.

Tambien en las turberas actuales podemos observar el mismo fenómeno. Así se ha comprobado que en los pantanos cercanos al mar se concluye la acumulacion de turba, cuando cesa el hundimiento. Por otra parte, un hundimiento excesivo hace sumerjirse la turba debajo del mar. Tales yacimientos sumerjidos de turba los hemos mencionado en el capítulo II, c.

Una rejion donde existen hoi dia condiciones mui parecidas a las de Arauco, cuando allí se formaba el carbon, es el reino de Holanda.

Desde el sur, a partir de Bélgica, pasando por Holanda hasta llegar a Alemania, se estien-

de un ribazo arenoso acompañado de un cordón de dunas. Este cordón de dunas de pocas decenas de metros de altura i con un ancho de unos cuantos centenares de metros hasta pocos kilómetros, protege contra las olas del mar una ancha zona de depresiones situadas en su mayor parte debajo del nivel del mar. El suelo entero se



Escala 1:2 900 000

Depresiones debajo del nivel del mar



Yacimientos de turba



Fig. N.º 5.— La distribucion de los yacimientos de turba en Holanda. (Segun Molengraaf i van Waterschoot).

compone de sedimentos depositados en el gran delta de los rios Rhin i Mosa. En estas depresiones, hoi secadas artificialmente, se han formado estensos yacimientos de turba. Debajo de esta turba se encuentra una arcilla marina, debajo de la cual sigue otra capa de turba que hoi se halla a una hondura de 20 a 23 m debajo del nivel del mar. Segun *Molengraaf i van Waterschoot* (1) los 200 m de capas que siguen debajo del manto inferior de turba se han depositado durante un hundimiento paulatino de la tierra que siempre ha sido compensado por una acumulacion de arenas i arcillas. Este hundimiento de la costa se efectua hasta hoi dia i, segun cálculos basados en las observaciones de los últimos cincuenta años, es de 20 cm en 100 años. Solo por una labor constante los holandeses pueden proteger sus fértiles campos contra las olas del mar. Sin este trabajo del hombre la Holanda seria una rejion que presentaria exactamente las mismas condiciones que las que han existido en la provincia de Arauco durante la formacion del carbon. Un nuevo hundimiento excesivo dejaria entrar el mar en las depresiones cubriendo con sus arenas las turbas recientes.

c) PERTURBACIONES POSTERIORES DE LAS CAPAS CARBONÍFERAS DE ARAUCO.

Habíamos seguido la historia jeológica de la provincia de Arauco hasta llegar al fin del Terciario carbonífero. Todos los estratos depositados en este período tuvieron una posicion horizontal. Mas tarde, en el plioceno, se produjeron grandes perturbaciones tectónicas que hicieron subir la Cordillera de los Andes. Esta habia sido formada primero al fin del cretáceo; pero en el largo tiempo trascurrido desde ese tiempo, habia sido destruida i trasformada en un loma-

(1) *Molengraaf und van Waterschoot*.—*Niederlande en: Steinmann und Wilckens: Handbuch der regionalen Geologie. Tomo 1, 3, p. 54.*

je bastante suave. Por el levantamiento que se efectuó al fin del Terciario, los Andes volvieron a formar una cordillera de cordones altos. Junto con ellos subió también la Cordillera de la Costa a sus alturas actuales i las capas terciarias depositadas a su pie occidental. Estas recibieron una posición inclinada hácia el oeste i por la tensión producida por los movimientos se rompieron en un número de bloques irregulares. En los bordes de las grietas que atravesaron las capas, unos bloques de capas subieron i otros bajaron. Las grietas son las fallas que se observan en todas las minas de la zona carbonífera de Chile. La figura siguiente muestra el aspecto que ofrecen hoy los estratos carboníferos:

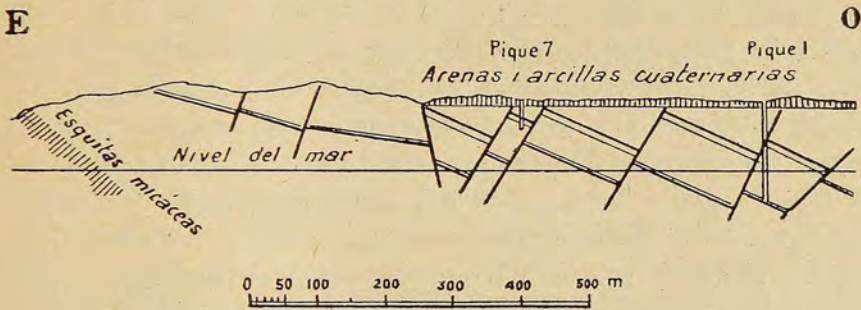


FIG. N.º 6.—Perfil de las Minas de Colico. (1) Los mantos de carbon dislocados por fallas.

A la izquierda del perfil vemos las esquitas micáceas, las capas basales de la Cordillera de la Costa, sobre las cuales se apoyan las capas terciarias. Estas mismas tienen un manteo de unos 20° hácia el oeste i son atravesadas por fallas en las que han subido i bajado los diferentes bloques de capas. Los mantos de carbon que ántes de las dislocaciones se extendieron sin interrupcion por toda la rejion, se terminan bruscamente en las fallas i deben buscarse encima o debajo del punto donde se han perdido. Naturalmente, la tarea de

(1) Tomado de *J. Brüggén*.—Informe sobre Exploraciones jeológicas de la rejion carbonífera del sur de Chile. *Bol. Soc. Nac. de Minería* 1913. Plano N.º 5.

buscar el manto perdido es de suma importancia práctica. En las minas de Arauco i Concepcion se puede decir que jeneralmente la falla ha botado la parte hácia donde ella misma está inclinada. Así en la figura anterior, la falla mas oriental tiene inclinacion hácia el oeste i la parte occidental se ha hundido, miéntras las otras fallas con inclinaciones hácia el este tambien han hecho bajar la parte oriental.

Las dislocaciones tectónicas que han perturbado el Terciario carbonífero, naturalmente han disturbado tambien la superficie del terreno. Se formaron cerros i lomas; pero éstos, en su mayor parte, han desaparecido rápidamente a causa de la erosion. Las olas del mar plioceno i cuaternario destruyeron las irregularidades del terreno i estendieron sus capas horizontales por encima de las capas inclinadas del Terciario. Levantamientos posteriores de la costa hicieron subir estas capas modernas a la altura de unos doscientos metros. Hoi dia ellas forman el suelo de la altiplanicie de Arauco; en la figura N.º 6, las vemos cubrir el Terciario de las minas de Colico. Estas capas modernas, aunque no tienen ninguna relacion con el carbon subyacente, siempre tienen alguna importancia práctica, pues, con gran espesor cubren estensos areales de la provincia de Arauco i prohíben un estudio de las capas carboníferas sin hacer sondajes. Además, la gran cantidad de agua subterránea contenida en las capas modernas, formadas por arenas i rodados, dificulta la construccion de los piques.

d). ALGUNAS PARTICULARIDADES DE LOS MANTOS DE CARBON OBSERVADAS EN LAS MINAS DE LA PROVINCIA DE ARAUCO.

1) *Empeoramiento i desaparicion paulatina de algunos mantos de carbon*

En el capítulo III, a) hemos visto el carbon sedimentarse en forma de turba en lagunas grandes, estancadas por un ribazo arenoso acumulado por las olas del mar. Los bosques

se adelantaron desde las riberas de la laguna hasta trasformar finalmente la laguna casi entera en un estenso pantano boscoso. Pero siempre quedaron algunos restos de la laguna que se mantuvieron abiertos, en parte a causa de su mayor profundidad, i ademas los lechos de los rios que atravesaron la planicie costanera, quedaron sin sedimentacion de turba. El resultado de la existencia de una antigua laguna se puede observar en la rejion entre Curanilahue i Cullinco. Los mantos de carbon que se esplotan en esta rejion son el *Doble* ; unos doce metros mas abajo el *Alto*. Este último pasa por toda la rejion solo con alteraciones de poca importancia, mientras el manto *Doble* existe solamente en las minas de Curanilahue i en las al sur de Cullinco i falta en la zona entre los dos pueblos. La paulatina desaparicion del *Doble* se puede ver en los frontones de la Mina N.º 6 de la Compañía Arauco, donde he observado el perfil siguiente:

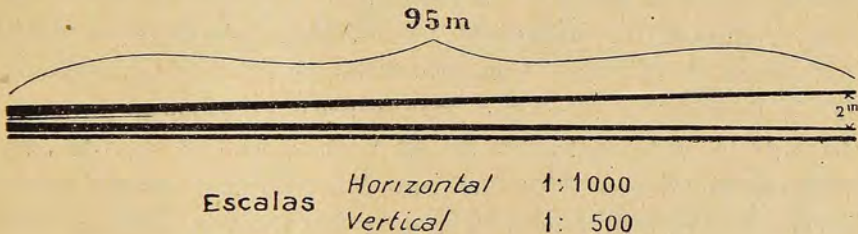


FIG. N.º 7.—El manto Doble en Curanilahue.

En la figura anterior se ve que el manto se compone de varios mantos parciales separados entre sí por capas delgadas de arcilla. Uno de los mantos parciales desaparece paulatinamente hácia el sur i las capas de arcilla que lo encierran en la parte norte de la mina se juntan i van engrosándose hasta alcanzar un espesor de 2 m. Al mismo tiempo, los otros mantos de carbon van poniéndose mas delgados i el manto principal pierde su esplotabilidad. Este fenómeno, a primera vista tan sorprendente, indica la transicion entre la turba del antiguo pantano i la arcilla depositada al mismo tiempo en la laguna. Las alternaciones de capas de carbon i

de arcilla que juntas forman el manto principal, indican cambios en el nivel del agua de la laguna. A causa de la escasa estension de los trabajos mineros en esta rejion, no podemos indicar la posicion exacta de la laguna; sus aguas deben haber cubierto la rejion entre la mina N.º 6 i el pueblo de Cullinco; los márgenes setentrional i austral han pasado por estos dos puntos, pero de la estension hácia el este i oeste nos faltan los indicios.

Fenómenos parecidos se pueden observar en la Mina Porvenir, situada al norte del rio Lebu, donde el manto *Alto* desaparece paulatinamente, i en las minas de Colico, donde sucede lo mismo con el manto *Mora*.

2). *Antiguos lechos de rios en los mantos de carbon*

De la desaparicion paulatina del carbon, descrita en el capítulo anterior, debemos distinguir la erosion posterior del carbon que se ha efectuado inmediatamente despues de la formacion de la turba. Una transicion entre los dos fenómenos la forman los rios que atravesaron el antiguo pantano durante la sedimentacion de la turba i que en vez de este combustible depositaron sus rodados i arenas. Hasta ahora no conozco ejemplos buenos ni de rios contemporáneos ni de una erosion inmediatamente posterior del carbon de Arauco. Tal erosion posterior se ha observado en muchas minas de carbon de Alemania. El ejemplo clásico es el *Horse in the Forest of Dean Coal Field* en Inglaterra. El *Horse* es un rio antiguo que junto con sus afluentes pasaba por el yacimiento de carbon cuando éste se formaba o inmediatamente despues. En las minas de carbon el *Horse* i sus afluentes consisten en fajas de areniscas que atraviesan la parte superior o el espesor total del manto de carbon; estas fajas son los antiguos lechos de los rios i esteros.

Despues de haber sido cubierto por capas gruesas de arenisca o arcillas, el carbon está protegido contra la destruccion, a no ser que movimientos tectónicos alteren la posicion

de los mantos i de las capas superpuestas. En este caso, los rios depositan mas tarde los pedazos de carbon que han arrasrado del manto, en sus arenas o los llevan hasta el mar, donde quedan encerrados en las arenas del mar junto con las conchas marinas. Así, en el fundo *Pata de Vacas* en la provincia de Arauco, rodados de carbon se hallan encerrados en areniscas marinas i prueban que ya durante la sedimentacion de las capas superiores del Terciario carbonífero, en algunas partes los mantos de carbon se encontraban espuestos a la erosión superficial:

3) *El Bronce contenido en los mantos de carbon*

Con el nombre *bronce* denominan los mineros de Arauco un mineral negro de fierro que se halla en capas de 0.10 a 0.20 m. de espesor en los mantos de carbon. Principalmente se encuentra en la parte superior, pero tambien en medio del manto; en este último caso forma masas lenticulares cuyo diámetro horizontal varía entre unos pocos centímetros i varios metros. Este mineral corresponde al *Kohleneisenstein* de las minas de hulla de Alemania; es una mezcla de *siderita* con arcilla, sílice i carbon; a este último se le debe el color negro. Esferosideritas de la misma naturaleza son frecuentes en los yacimientos de turba moderna, donde se forman por la precipitacion de las soluciones de fierro contenidas en las algas estancadas. Gran influencia en esta precipitacion tienen organismos microscópicos que viven en tales aguas pantanosas.

4) *El gas grisú*

Afortunadamente el gas grisú es poco frecuente en las minas de carbon de Chile. Sin embargo, se han producido algunas desgracias lamentables i se repiten casi cada año, causadas mas por la imprudencia de los mineros que por negligencia de los ingenieros. Segun hemos visto en el capítulo II,

b, 2, el gas grisú o metan (CH_4) proviene del proceso de la carbonizacion que produce la trasformacion de la turba en las diferentes clases de carbon. Este gas tiene un peso específico menor que el aire, de consiguiente se concentra en hoyas abrigadas del techo de los frontones, pero tambien se mezcla con el aire. Esta mezcla es sumamente explosible i de consiguiente mui peligrosa. La única proteccion contra tales explosiones es una buena ventilacion que impide la concentracion del gas grisú en cantidades peligrosas. En los frontones, donde no alcanza la corriente de ventilacion, se trabaja con las conocidas lámparas de seguridad. Aunque éstas no ofrecen ninguna proteccion absoluta contra las explosiones, son de gran utilidad porque indican la presencia del gas grisú bastante temprano para tomar precauciones contra el peligro.

El gas grisú se halla encerrado en las grietas i porosidades del manto de carbon como tambien en los espacios huecos de éste. Jeneralmente sale del carbon explotado continuamente en pequeñas cantidades con un ruido parecido al agua que hierve. Este ruido se debe a la compresion del gas encerrado. De los huecos el gas sale en forma de una corriente constante o de explosiones que pueden llenar los frontones vecinos con los escombros del carbon arrojados. Se han medido tensiones del gas encerrado en el carbon de 15 atmósferas i en un caso de 33 atmósferas. Mui interesante es la observacion de que la salida del gas grisú está en íntima relacion con la presion barométrica. Ya variaciones mínimas de ésta influyen en la salida del gas. Con un aumento de la presion atmosférica, baja la cantidad del gas grisú contenida en el aire de los frontones.

CONCLUSION

En los párrafos que preceden hemos tratado de describir el modo cómo se han formado los carbones de piedra, i hemos explicado varios fenómenos observados en las minas de

carbon. No ha sido posible entrar en todos los detalles que se pueden estudiar mas detenidamente en los libros de *Stutzer* i *Potonié*. Nos ha guiado el propósito de esponer brevemente algunas de las nociones científicas que debe tener un ingeniero de minas de carbon.

Así como sin el conocimiento de la jeología no se pueden comprender las condiciones jenerales de los mantos de carbon, condiciones cuya justa apreciacion al fin i al cabo tiene a menudo gran importancia práctica, así tambien la jeología debe servir de base para averiguar las particularidades de los yacimientos de salitre, las vetas de cobre i fierro, las corrientes de aguas subterráneas, etc.

Si bien las aplicaciones prácticas de la ciencia jeológica para el minero no son siempre tan palmarias i visibles como lo es la investigacion científica del físico i químico para el progreso de las industrias, por eso no se dejará de reconocer que la jeología tampoco es un estudio meramente especulativo, sino que puede dar contribuciones valiosas al mejoramiento de los fines prácticos de la explotacion minera.

