

I/16-1-1

NOTAS Y COMUNICACIONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO

DE

ESPAÑA

NÚMERO 15



MADRID
Gráficas Reunidas, S. A.
Hermosilla, 106
1946

**CRIADEROS MINERALES
DE TIPO FILONIANO**

SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

CONFERENCIA DADA EL DIA 6 DE MARZO DE 1945
EN EL INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES

POR

JUAN GAVALA Y LABORDE

INGENIERO DE MINAS



CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO

SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

CONFERENCIA DADA EL DIA 6 DE MARZO DE 1945
EN EL INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES

POR

JUAN GAVALA Y LABORDE
INGENIERO DE MINAS

Excelentísimo señor; señoras, señores:

A las muchas preocupaciones que pesan sobre mi ánimo en estos momentos, cosa natural y lógica, puesto que sin grandes conocimientos científicos me veo en el trance difícil de dirigir la palabra a un público tan selecto y tan culto como el que de ordinario concurre a esta sala de conferencias, ha venido a sumarse, y en el instante más crítico, una nueva nada despreciable: la de esos elogios inmerecidos que acaba de hacer de mí nuestro querido Presidente.

Bien se yo, que soy el primero en reconocer y admirar sus nobles dotes de caballerosidad, que esos elogios suele él prodigarlos al conferenciante de turno para tranquilizar su espíritu y hacerle ver que cuenta de antemano con la simpatía y la benevolencia del auditorio, representado por él en esos

momentos. Pero yo no sé si se ha dado cuenta el Sr. Novo de que al exagerar los méritos del orador coloca a éste en una situación difícil, pues hace concebir a los oyentes unas esperanzas que a duras penas se ven luego satisfechas, y que en este caso concreto me atrevo a asegurar que han de verse defraudadas.

Y en este sentido, creo yo, pensando tal vez egoístamente, que sería preferible que, en vez de prodigar elogios, se esforzase el Sr. Novo en hacer patentes las muchas dificultades con que tiene que luchar el conferenciante para salir airoso de su misión, y así haría nacer más fácilmente la indulgencia del auditorio, indulgencia de que tan necesitado está quien se lanza como yo a retener, o a intentar retener, la atención de un público merecedor de escuchar a hombres de más valía, de más ilustración y de más cultura.

Pero como sé que los elogios que han sonado aquí esta tarde se los ha dictado al Sr. Novo el afecto fraternal que de antiguo me profesa, he de agradecerse los, aunque los estime inmerecidos y exagerados, y no he de cargarle en cuenta la difícil situación en que, como digo, me ha colocado ante mis oyentes.

Ahora bien: esos elogios me han puesto en guardia, y me creo por de pronto en el caso de declarar, de advertir, que estas conferencias mías no tienen ninguna pretensión científica, pues sólo persigo con ellas que los mineros en general, y muy especialmente mis compañeros los Ingenieros de Minas, tomen nota en las explotaciones que dirijan de una porción de detalles que, aunque pudieran parecer insignificantes, tienen grandísima importancia para juzgar del valor de los criaderos y para resolver de paso cuestiones científicas que a todos nos interesa aclarar, porque no hay duda de que cuanto mejor se conoce el desarrollo de un fenómeno natural tanto más partido saca el hombre al enfrentarse con él; y el

proceso de formación de los filones tiene enorme importancia en minería, pues la mayor parte de los metales que utiliza el hombre en las industrias modernas se extraen de yacimientos o criaderos minerales de tipo filoniano, es decir, de grietas y cavidades de las rocas de la corteza terrestre rellenas de compuestos metálicos diversos.

En regiones vírgenes o poco exploradas, de las que van quedando pocas en la Tierra, es hasta cierto punto fácil el descubrimiento de los criaderos metalíferos, porque los filones suelen destacar en la superficie con sus crestones o monteras ferruginosas, o anunciar su proximidad por los trozos de mineral desprendidos de los afloramientos y esparcidos por el suelo. Por el aprovechamiento de estos trozos sueltos de mineral debió comenzar la industria minera; aun en nuestros días, minerales como los de estaño y tungsteno se explotan en cantidades importantísimas en ese estado de trozos sueltos mezclados con los derrubios de las laderas, la tierra de los valles y los acarreos de los arroyos (en España tenemos un ejemplo recientísimo con lo ocurrido en Galicia con el wolfram), y todos sabéis que gran parte del oro que atesora la Humanidad procede de restos o detritus de filones de cuarzos y piritas auríferas, concentrados o enriquecidos por las aguas de las corrientes superficiales, que, arrastrando hacia el mar la parte menos densa, fueron acumulando las partículas auríferas, *las pepitas*, en los fondos de los cauces y en los ensanchamientos de los valles, originándose así los yacimientos de formación secundaria denominados "placeres".

Pero en países de vieja civilización como el nuestro, en donde desde época fenicia se vienen explotando las riquezas del subsuelo, todo cuanto la Naturaleza había puesto de manifiesto está ya o agotado o en vías de agotamiento, y si esos países quieren conservar y continuar su historial minero tienen que pensar necesariamente en el descubrimiento de cria-

deros más o menos ocultos, apoyándose en las enseñanzas de la Geología y de la propia Minería. Y para ello es de todo punto necesario conocer la relación que guardan los filones con determinadas clases de rocas de la corteza terrestre, es decir, su modo habitual de presentarse, que es a su vez consecuencia del modo como dichos filones se forman, esto es, de su génesis.

Aunque no fuera sino por este motivo, de índole puramente industrial o comercial, el Ingeniero de Minas tendría que profundizar en el conocimiento de las estructuras filonianas y estudiar e indagar su origen y procedencia, pues sólo familiarizándose con estas cuestiones podrá apreciar qué comarcas pueden contener yacimientos minerales de verdadera importancia y proyectar su explotación metódica en las mejores condiciones económicas y de rendimiento global, para que no se repita la triste experiencia que tenemos los españoles de distritos mineros que fueron, más que explotados, saqueados, y en los que hubo de quedar abandonada una parte importante de su riqueza por no haber conocido a tiempo su estructura, por no haber concedido a estas cuestiones de génesis filoniana la importancia que realmente tienen.

Este estudio de la génesis de los filones que, como digo, es de necesidad absoluta para el minero profesional, constituye, aun para el profano, un tema interesante, como lo son todos los que se relacionan con la actividad interna de nuestro Globo; por esto creo que si las personas ajenas a la profesión aquí presentes prestan un poco de atención a la primera parte de esta conferencia, en la que procuraré reducir lo más posible la exposición de las ideas científicas que considero fundamentales para su desarrollo, me seguirán después con la curiosidad y la natural satisfacción de encontrarse explicados hechos y fenómenos que tal vez hasta ahora no habían llegado a comprender y descifrar.

Y conste que yo no soy amigo de las conferencias, porque a menos de que el conferenciante posea dotes extraordinarias de orador, y de orador ameno, de que yo en absoluto carezco, degeneran fácilmente en "lecciones de clase", y nada tan aburrido como una lección de clase. Este inconveniente, por decirlo así, de orden general, se encuentra acrecentado en este caso por tener que abordar un tema en el que la inventiva personal es de todo punto imposible, pues cuanto se sabe de criaderos metalíferos es resultado de infinidad de investigaciones repartidas por todos los ámbitos del planeta, dirigidas por innumerables geólogos y mineros y recopiladas por unos cuantos sabios que han deducido ya todas las consecuencias que se podían deducir, y a las que poco o nada se puede añadir hoy por hoy, y menos había de intentarlo yo. Pero he creído que podía prestar alguna originalidad al tema echando por delante, no mi ciencia, que bien menguada es, sino mi ignorancia, exponiéndolos lo poco que sé de criaderos filonianos por el orden en que lo he ido aprendiendo, o mejor dicho, por el orden en que creo haberme ido dando cuenta de fenómenos que tardé muchos años en comprender a pesar de los conocimientos adquiridos en las aulas de la Escuela.

* * *

Ya hacía años que había terminado mis estudios y no había podido explicarme aún satisfactoriamente esa asociación, frecuente en los filones, de sustancias tan heterogéneas como el cuarzo y los compuestos metálicos y tuve siempre la preocupación de buscar una explicación satisfactoria a esa agrupación de minerales tan distintos, porque me parecía que cualquier suposición o teoría que llegase a explicarla arrojaría mucha luz sobre el origen de los filones metalíferos. No hay, en efecto, ninguna afinidad química entre el cuarzo y los sulfuros metálicos que pueda explicar el haberse disuelto jun-

tos y el haberse precipitado juntos. Yo comprendía, hasta cierto punto, la coexistencia en un filón del hierro y del manganeso, o de la calcita y de la barita, pero en modo alguno la del cuarzo y los sulfuros de cobre o de cinc, y menos aún la del cuarzo y el oro, a pesar de ser el oro uno de los metales más inseparables del cuarzo. Es verdad que en mi época de estudiante se suponía que los minerales de los filones los habían disuelto las aguas al atravesar las rocas del subsuelo y que las mismas aguas los habían transportado a grandes distancias para depositarlos luego en las paredes de las grietas; pero este supuesto hacía incomprensible para mí, incluso la existencia del cuarzo en los filones, porque, salvo raras excepciones, las aguas de circulación interior lo que disuelven y precipitan es carbonato cálcico y no sílice, de modo que parecía mucho más natural que el elemento no metálico, la ganga de los filones, fuera la calcita y no el cuarzo.

Por el año 1925 dirigía yo la construcción de un túnel de cinco kilómetros para cruzar la divisoria de las Riberas de Cala y Huelva, en la provincia de Sevilla, y aprovechando el gran desnivel existente entre los cauces de ambos ríos, utilizar las aguas trasvasadas del Cala en un salto de 185 metros de altura (el salto llamado del Ronquillo, que construyó y explota la Compañía Sevillana de Electricidad). Después de atravesar en sus comienzos unos centenares de metros de pizarras del Estrato cristalino, penetró el túnel en una masa potentísima de rocas hipogénicas, que no abandonó hasta muy cerca de su desembocadura en el valle del Huelva (fig. 1). La roca predominante en esa masa era una diorita de grano medio, compuesta de feldespatos y anfíbol, que en ciertas zonas contenía abundantes cristales de cuarzo; es decir, se convertía en una diorita cuarcífera, que por disminución del feldespato plagioclasa pasaba a su vez gradualmente a granito anfibólico y a granito normal con biotita, esa roca que tanto

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

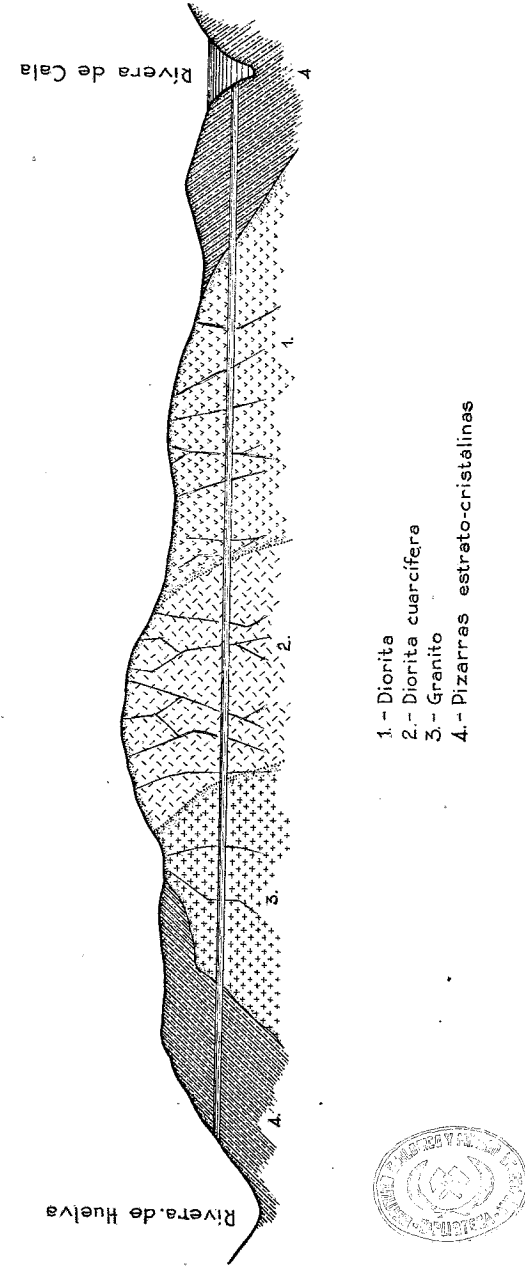


Fig. 1.—Rocas granitoides cruzadas por diques de pórfidos y cuarzos metalíferos.

abunda en la Sierra de Guadarrama y que tan conocida es de los madrileños por el gran empleo que de ella se hace en las construcciones y pavimentaciones de Madrid. Estos cambios de composición de la roca, generalmente paulatinos, pero en ocasiones bastante bruscos, se explican en Geología por el proceso llamado de "diferenciación magmática", del que luego me ocuparé brevemente.

La gran masa de rocas hipogénicas de Cala estaba cruzada de trecho en trecho por diques de pórfidos, otras rocas también hipogénicas, pero de grano más fino y menos uniforme. La composición de estos pórfidos era muy variable. Unos, de color verde oscuro, contenían casi exclusivamente minerales ferromagnesianos; otros tenían composición parecida a la de las dioritas cuarcíferas; otros, en fin, estaban formados únicamente por cuarzo y feldespatos en proporciones muy variables. Entre estos últimos había algunos en que los feldespatos desaparecían casi por completo, y el dique quedaba prácticamente reducido a un dique o filón de cuarzo. Por su relación de proximidad y mutua dependencia era evidente que todos esos diques procedían de un magma común, que por el proceso de diferenciación magmática antes aludido había dado origen a todas esas rocas tan distintas.

Llamó extraordinariamente mi atención que en los diques compuestos de cuarzo y feldespatos que la galería atravesó se veían bastantes cristales de pirita de hierro y de calcopirita, y que en los que se componían exclusivamente o casi exclusivamente de cuarzo se presentaban en mayor abundancia esos minerales, formando ya vetas y nódulos, y constituyendo, por tanto, verdaderos filones metalíferos.

Como todos los diques, incluso los de cuarzo, reconocían, sin duda, origen ígneo y representaban tan sólo fases o etapas distintas de un proceso de diferenciación magmática, resultaba evidente que los sulfuros metálicos empastados en el

cuarzo procedían de la misma fuente, y eran unos de tantos minerales que, como el cuarzo y los feldespatos, se habían segregado del magma al diferenciarse éste y cristalizar. Esta deducción fué para mí un rayo de luz, pues enfocado así el asunto y reconocido el origen ígneo del cuarzo, la pirita y la calcopirita, no sólo dejó de parecerme extraño que el cuarzo y los sulfuros metálicos se encontraran juntos en un filón, sino que me hice cargo al momento de que esa coexistencia era la cosa más natural y lógica. Y así fué como un buen día, y después de haberle dado muchas vueltas al asunto, pude explicarme por primera vez el porqué de la asociación del cuarzo y de los compuestos metálicos en los filones, cosa que hasta entonces había constituido para mí un enigma. Claro es que ese mismo día quedé también convencidísimo de que todas aquellas teorías de génesis filoniana que yo había aprendido en mis tiempos de estudiante eran puras disquisiciones sin sólida base científica y, lo que es peor, sin comprobación en la práctica.

Como quedará demostrado en el curso de estas conferencias, todos los criaderos minerales de tipo filoniano, absolutamente todos, son producto de la diferenciación de magmas ígneos, aunque otra cosa se creyera antaño y se siga creyendo hoy día por algunos mineros un poco atrasados de noticias. Todas las formaciones filonianas que se conocen están directamente relacionadas con emisiones de rocas ígneas o hipogénicas, y por ello me vais a permitir, aun cuando para la mayoría de vosotros no constituya ninguna novedad lo que voy a decir, que exponga algunas ideas sobre esta clase de rocas, a las que constantemente he de estar refiriéndome. Pero no os alarméis por esta digresión, porque he de ser muy breve y he de expresarme en términos vulgares para que me entiendan todos, aun cuando padezca algo la exactitud científica.

* * *

Rocas ígneas o hipogénicas son, como su nombre da a entender, las que se han formado por el enfriamiento y la subsiguiente solidificación de un material pétreo que en un principio estaba fundido y a temperatura muy elevada. Esta masa fundida es lo que designan los geólogos con el nombre de *magma*. Un magma es, en cierto modo, una disolución que contiene en estado disociado los elementos que cuando la masa se enfría suficientemente se unen para formar los distintos minerales que han de constituir la roca resultante. Los principales elementos constitutivos de los magmas de las rocas ígneas son el oxígeno, el silicio, el aluminio, el hierro, el calcio, el magnesio, el sodio y el potasio, enumerados por el orden de mayor a menor abundancia. Cuando un magma se enfría, estos elementos se combinan entre sí para formar edificios moleculares, moléculas, como antes se decía, de distintos minerales, y cuando la disolución se va saturando de dichas moléculas comienzan éstas a cristalizar y a separarse de la disolución, formando los minerales de la roca.

En igualdad de condiciones, ciertos minerales se separan por cristalización de la masa fundida antes que otros. En la mayoría de las rocas ígneas se puede determinar el orden en que han ido cristalizando sus distintos elementos. En general, los minerales más "básicos", es decir, los que tienen menor proporción de sílice, que es el elemento ácido de las rocas ígneas, suelen cristalizar primero, y los más "ácidos", después. Entre los minerales más corrientes que contienen estas rocas, el orden normal de cristalización es el siguiente: primero, los óxidos de hierro, como la magnetita; a continuación, los metasilicatos ferromagnesianos, como el piroxeno; después, los silicoaluminatos de metales alcalinos y térreoalcalinos denominados feldespatos, y, por último, el cuarzo.

Los minerales que se encuentran en una roca ígnea dependen principalmente de la composición química del magma

original. Si éste era de carácter ácido, esto es, si tenía un elevado porcentaje de sílice, la roca resultante contendrá minerales ácidos y cierta proporción de sílice sin combinar, de cuarzo libre. Si, por el contrario, el magma era de carácter básico, esto es, si tenía un pequeño porcentaje de sílice, la roca contendrá minerales más o menos básicos, o más o menos ácidos, pero nunca sílice libre, nunca cristales de cuarzo.

Independientemente de la composición química y mineralógica, las rocas ígneas presentan diferencias muy marcadas por lo que respecta a su textura física. Esta depende del

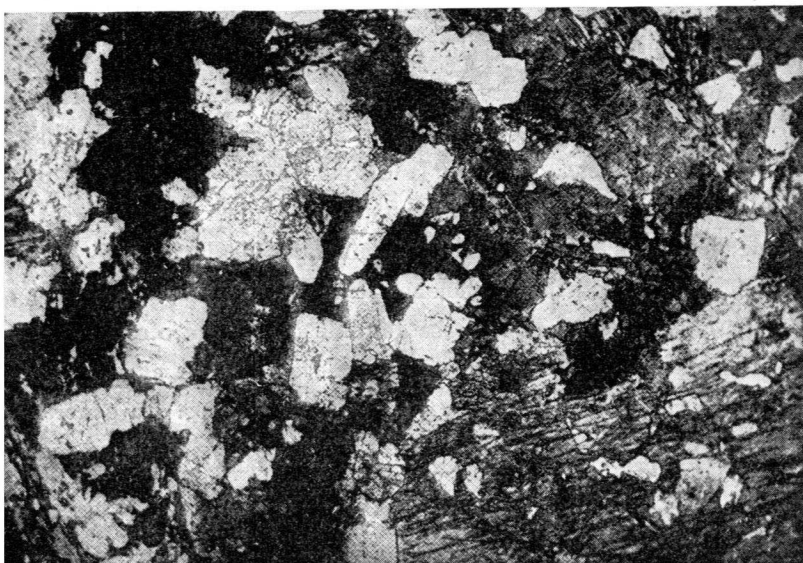


Fig. 2.—Textura macrocristalina de las rocas consolidadas a gran profundidad (diorita).

modo de originarse la roca. Si una roca se ha formado por un magma situado a gran profundidad en la corteza terrestre, como el enfriamiento de la masa habrá sido muy lento, habrá tardado mucho tiempo en efectuar su gradual cristalización

y solidificación. En estas condiciones, las partículas minerales, debido a esa lentitud en la cristalización, habrán podido crecer hasta alcanzar tamaños apreciables; por tanto, la roca que tenga un origen profundo presentará textura granodocristalina, y los distintos minerales que la forman se podrán reconocer a simple vista o con el auxilio de una lente. Estas rocas se llaman *plutónicas* (fig. 2).

Por el contrario, si por efecto de presiones internas, pro-

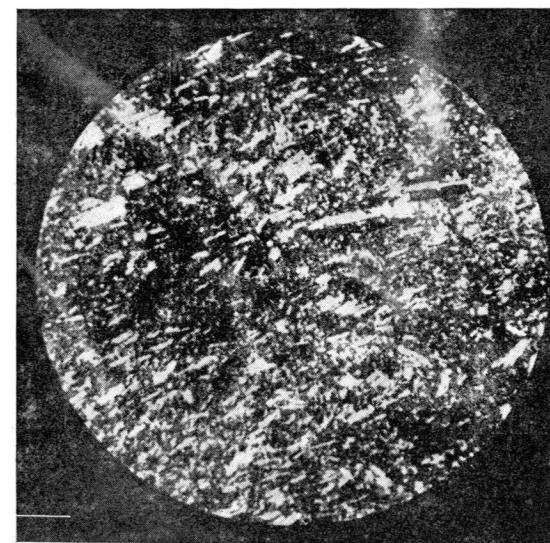


Fig. 3.—Textura microcristalina de las rocas consolidadas a poca profundidad (andesita).

vocadas por movimientos orogénicos o de otra índole, el magma flúido se ve forzado a subir hasta la superficie o a inyectarse en forma de bolsadas o diques entre rocas que se encuentren cerca de la superficie, su enfriamiento y solidificación tendrán lugar con bastante rapidez. En estos casos, las partículas minerales no tendrán tiempo de desarrollarse bien, y la roca resultante presentará textura microcristalina y grano

muy fino (fig. 3). Y podrá ocurrir que el enfriamiento sea tan rápido que apenas dé tiempo a la formación de minerales bien definidos, y entonces la roca resultante presentará textura vítrea (fig. 4). Estas son las rocas que se denominan volcánicas, y sus elementos constitutivos sólo se pueden distinguir examinando al microscopio, por transparencia y en luz polarizada, láminas delgadas de las mismas.

Las rocas ígneas presentan a veces cristales bien formados de algunos minerales, empastados en una masa de material cristalino mucho más fino (fig. 5). Los primeros, llamados *fenocristales*, alcanzan a veces hasta dos y tres centímetros de longitud, en tanto que los granos de la pasta suelen tener dimensiones microscópicas; pero no son las dimensiones absolutas de unos y otros, sino la diferencia marcadísima que existe entre el tamaño de los fenocristales y el de los elementos de la pasta, lo que caracteriza a estas rocas, que se denominan *pórpidos*.

Existe, por último, un tipo especial de rocas ígneas que tienen íntima relación con los criaderos metalíferos, y cuyo estudio fué el que puso realmente sobre la pista de los descubrimientos a los investigadores que se dedicaron a descifrar el enigma de la génesis de los filones.

Quienquiera que haya hecho geología en comarcas donde afloran masas hipogénicas graníticas habrá podido observar que el granito, roca granudo-cristalina compuesta de cuarzo, feldespato y mica, contiene a veces los mismos tres elementos en cristales de tamaño excepcional. Esta roca, que los norteamericanos llaman "granito gigante", por el tamaño de los elementos componentes, se conoce más generalmente con el nombre de *pegmatita*, que alude a la disposición entrecruzada, que, debido a su crecimiento simultáneo, presentan los cristales o agujas de cuarzo y de feldespato. Unas veces, las pegmatitas se presentan en bolsadas dentro del granito, y

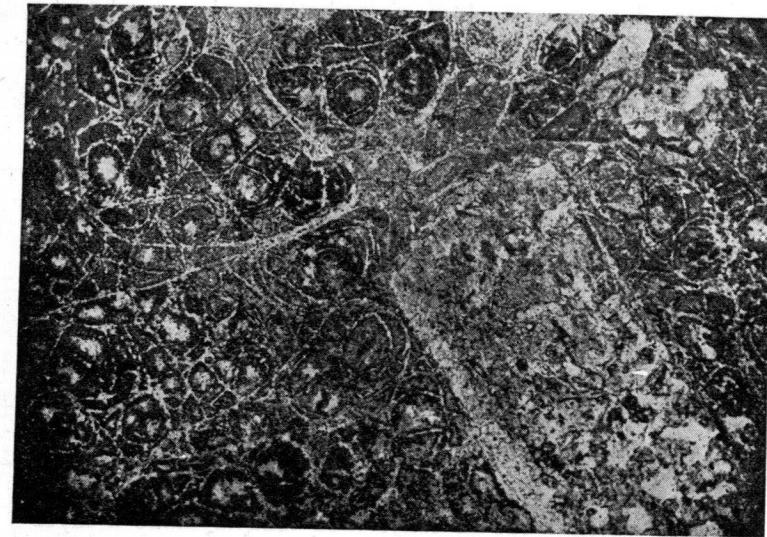


Fig. 4.—Textura vítrea de las rocas consolidadas en la superficie o cerca de ella, con desvitrificación incipiente (rhyolita).

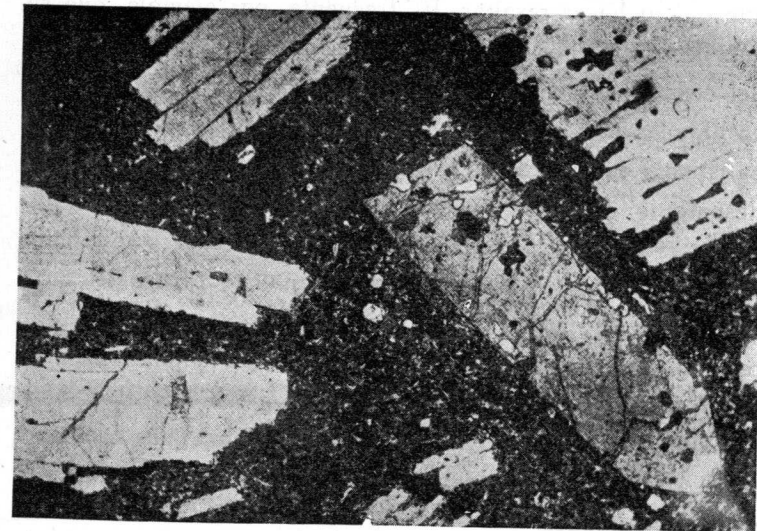


Fig. 5.—Textura porfídica (pórvido andesítico).

sin líneas de separación bien marcadas entre la roca de cristales grandes y la de cristales normales, lo que demuestra claramente que el magma pegmatítico es tan sólo una variante del magma granítico; otras veces se encuentran en forma de diques, bien cruzando la masa granítica principal, bien rellenando grietas y fisuras de las rocas que envuelven o rodean la masa granítica (fig. 6).

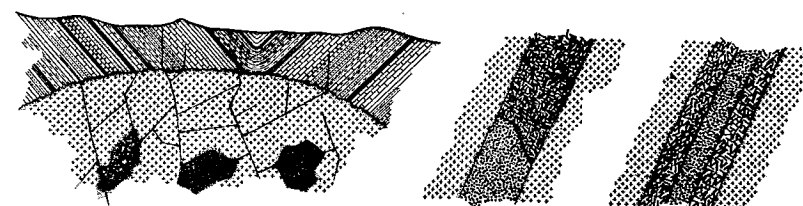
No es éste el momento de hacer una detallada exposición de las causas que motivan la formación de estas rocas, pero pueden sintetizarse así: cuando un magma granítico se enfría y se solidifica lentamente, se contrae, y al disminuir de volumen se producen grietas y fisuras a través de su masa. La presión debida al peso de los terrenos que gravitan sobre él, obliga al material que se conservaba todavía fluido a inyectarse en esas grietas y fisuras y en las que pudieran haberse producido en las rocas de las proximidades. El relleno de cada una de esas grietas constituye un dique pegmatítico.

Concurren en estos diques circunstancias características que quiero hacer resaltar. Es frecuente, por ejemplo, que se manifieste en ellos una marcada tendencia a la separación del cuarzo, del feldespato y de la mica, de tal manera que en algunas partes del dique todo el relleno sea de cuarzo, y en cambio en los tramos contiguos el relleno sea sólo de feldespato; o bien que se encuentre el feldespato acumulado sobre las paredes o hastiales del dique, y el cuarzo formando una faja central, o viceversa. Algo análogo ocurre en ocasiones con la mica. Tanto esta disposición como el gran tamaño de los cristales indica que el magma pegmatítico era menos pastoso, más fluido y móvil que el magma granítico normal, y así los elementos tuvieron más facilidad para desarrollarse al cristalizar y para agruparse según sus propias afinidades.

¿Por qué esta mayor fluidez de los magmas pegmatíticos?

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA



Bolsadas y diques de pegmatitas

Fig. 6 Representación esquemática de bolsadas y diques de pegmatita.

MINERALES ACCESORIOS DE LAS PEGMATITAS	
TOPACIO	Silicato de alúmina, con fluor: $\text{SiO}_2(\text{Al}, \text{Fl})$
BERILO	Silicato de aluminio y berilo con algo de agua: $\text{Si}_6\text{O}_{14}\text{Al}_2\text{Be}_2$
TURMALINA	Silicato de aluminio y boro con cantidades variables de óxidos de hierro, manganeso, calcio, sodio, potasio y litio, hidroxilo y fluor:
APATITA	Fosfato de cal con fluor: $(\text{PhO}_2)_2(\text{Fl}, \text{Ca})\text{Ca}_2$
FLUORINA	Fluoruro cálcico: Fl_2Ca
MINERALES RAROS	
MOLIBDENITA	Sulfuro de molibdeno: S_2Mo
LEPIDOLITA	Silicato aluminico-potásico, con fluor y litio: $(\text{SiO}_2)_2\text{Al}(\text{Al}_2(\text{OH}, \text{Fl}))\text{K}, \text{Li}$
SPODUMENA	Metasilicato de aluminio y litio: $(\text{SiO}_2)_2\text{Li}, \text{Al}$
COLUMBITA	Niobato de hierro y manganeso: $\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{Fe}, \text{Mn})$
MONACITA	Fosfato de metales del grupo del Cerio (Lantano, Didymio, etc) con algo de silicato de torio $\text{PhO}_2(\text{Ce}, \text{La}, \text{Di}), \text{SiO}_2\text{To}$

Fig. 7. -- Elementos secundarios usuales de las pegmatitas. -- Elementos raros de las mismas rocas.

Sabemos por las erupciones volcánicas que cuando un magma se enfría y sus elementos cristalizan se desprenden de él cantidades considerables de vapor de agua y de cuerpos como el fluor y el boro que indudablemente actuaban de fundentes del material pétreo, y que se separan de éste al solidificarse por estar, por decirlo así, de más al no poder continuar cumpliendo su misión. Es natural que si esos cuerpos no pueden escapar al exterior, como ocurre cuando los magmas cristalizan a mucha profundidad y sin posible comunicación con la atmósfera, tienen por fuerza que incorporarse de nuevo al magma aun fundido y redisolverse en él, aumentando así considerablemente su fluidez. Esto no pasa de ser una suposición, pero suposición que se encuentra corroborada por el hecho de que las pegmatitas contengan como elementos accesorios una serie de minerales poco frecuentes, pero que abundan en ellas, y en cuya composición entran el fluor, el boro y el hidroxilo. Entre estos minerales figuran el topacio, el berilo, la turmalina, la apatita y la fluorita (fig. 7). También se encuentran en las pegmatitas, minerales que contienen elementos raros, como el litio, el molibdeno, el niobio y el cerio. Pertenecen a este grupo la molibdenita, la lepidolita, la espodumena, la columbita y la monacita (1). Estos minerales escasean mucho en la corteza terrestre, pero cuando se encuentran es generalmente en las rocas pegmatíticas, que son, como veis, una especie de cajón de sastre donde la Naturaleza fué arrojando cuanto le sobró al edificar esas gigan-

(1) La *lepidolita* es una mica litínica que se presenta en forma de pequeñas escamas, y a ello alude su nombre, derivado del griego, que quiere decir piedra en escamas.

La *espodumena* es un pyroxeno con litio, que forma cristales de gran tamaño y color gris ceniciento. Su nombre deriva de una palabra griega que significa ceniza.

La *columbita*, niobiato de hierro y manganeso, deriva su nombre del de columbio, con el que se designaba antes al niobio.

La *monacita* se presenta en cristales aislados, y a esta circunstancia y a su rareza hace alusión su nombre.

tescas moles de granito, que, como Guadarrama, Gredos y las Sierras de San Pedro y Pozoblanco, dan al suelo que pisamos una sensación de solidez y estabilidad que contrasta con la debilidad, al menos aparente, de otras zonas de la corteza formadas por rocas mucho menos consistentes y cruzadas en todas direcciones por líneas de fractura y por fallas.

Muchos diques de pegmatita son objeto de una activa explotación minera para la obtención del feldespato, tan empleado en la fabricación de las porcelanas, y de la mica, muy usada como material aislante en las industrias térmicas y eléctricas; pero se explotan también a veces, como ya indicó mi querido compañero D. José Meseguer en su amenísima conferencia sobre la Geología del lujo, para la obtención de piedras preciosas como el topacio, la esmeralda y otras variedades del berilo utilizadas en joyería (aguamarinas, berilo rosa, etc.) y también de la turmalina. Y es más: algunos diques de pegmatitas constituyen verdaderos filones metálicos; en el distrito de Clear Creek, del Estado del Colorado, se han encontrado pegmatitas con una proporción tan elevada de magnetita como mineral accesorio, que casi constituyen menas de hierro, y en el distrito de Herb Lake (Manitoba) se explotan diques de pegmatitas y cuarzos pegmatíticos como menas de molibdeno, por la gran cantidad de molibdenita que contienen.

Diques de pegmatitas y de cuarzos pegmatíticos, que no son sino una fase más avanzada de la diferenciación de los magmas pegmatíticos, son los que contienen la casiterita y el wolfram en nuestros yacimientos de Extremadura y de Galicia. Muchos de estos diques, que a primera vista parecen de cuarzo puro, contienen cristales de feldespato y de mica y agujas de turmalina, minerales todos que indican que el cuarzo de esos filones es de origen ígneo, como el cuarzo de los granitos, como el cuarzo de los pórfidos cuarcíferos.

He de advertir, sin embargo, que, por lo general, las pegmatitas no constituyen criaderos metalíferos propiamente dichos, aun cuando sí los formen muchos diques de cuarzo pegmatítico, y si he insistido en la relación que tienen las pegmatitas con determinadas menas y en el origen y modo de formación de estas rocas singulares ha sido para dejar bien sentado que las pegmatitas son producto de la diferenciación de magmas ígneos a los que se incorporan algunos compuestos metálicos de los formados con los elementos disociados del magma original, y que a la fase siguiente de diferenciación, a la de los cuarzos pegmatíticos, se unen ya a veces cantidades importantes de minerales de hierro, estaño, tungsteno y molibdeno, llegando a constituir criaderos filonianos, de cuyo origen ígneo o magmático nadie puede dudar.

* * *

Cuando pude convencerme a fuerza de golpear con el martillo rocas hipogénicas, de que ninguna diferencia esencial existía entre las disoluciones magmáticas que dieron origen a los diques de pórfidos y a los diques de cuarzo con sulfuros metálicos que cortó el túnel de Cala, como tampoco la hay entre los magmas que produjeron el granito y los diques de pegmatita que tantas veces había encontrado en mis excursiones por Sierra Morena y Extremadura, llegué a pensar más de una vez que el prejuicio tan arraigado en la mente de muchos geólogos de considerar como cosas fundamentalmente distintas por naturaleza y por origen, un dique de pegmatita y un filón de cuarzo falseó la interpretación de uno de los fenómenos de diferenciación magmática más comunes y más claros, y esa falsa interpretación paralizó durante muchos años el progreso de nuestros conocimientos en materia de génesis filoniana.

Y lo curioso es que repasando la bibliografía referente a

la formación de los criaderos metalíferos se encuentran opiniones de sabios geólogos que llegaron a ver con claridad que los filones de cuarzo con menas metálicas tenían origen hipogénico y eran producto de la cristalización de residuos magmáticos. Así, por ejemplo, Lehmann, publicó en 1884 un estudio sobre las pegmatitas de Sajonia, y con gran acopio de datos experimentales, y oponiéndose a la teoría entonces en boga de la formación de los filones por secreción lateral de las rocas de la caja, demostraba que los diques de pegmatita eran inyecciones magmáticas y reconocían el mismo origen que los diques de granito, y hacía notar la transición de los diques de pegmatitas a los diques de cuarzo, que debían tener, por tanto, según él, origen similar. Pero la obra de Lehmann fué recibida como teoría ridícula por la mayor parte de los sabios de la época, y sus opiniones, relegadas al olvido. En el año 1887, Howit, geólogo australiano, escribía: "Muchos filones y aun diques potentes de cuarzo cristalino y de cuarzo con turmalina, asociados a intrusiones graníticas cada vez más ácidas, representan la última porción del magma aún fluido", y en 1894, Lane, petrógrafo norteamericano, decía: "Hay una transición continua desde las pegmatitas hasta la segregación de filones de cuarzo rellenos de abajo a arriba." "Las pegmatitas—escribía Lane—son una forma de magma residual; los filones de cuarzo, un paso más del mismo proceso de diferenciación magmática."

Entre las opiniones manifestadas por geólogos de épocas pasadas acerca de la génesis de los filones metalíferos, no quiero dejar de citar la de Thomas Belt. Thomas Belt fué un Ingeniero de Minas inglés y a la vez un reputado naturalista que dirigió minas de oro en varios países de América y en Australia y escribió en 1873 un libro titulado "El Naturalista en Nicaragua", muy celebrado por Darwin y otros ilustres hombres de ciencia, y en el que, entre otras cosas

curiosas, cita muchos ejemplos de mimetismo como medio protector de los insectos, en los que Darwin se apoyó para desarrollar la teoría de la evolución en su famosa obra "The descent of men". En dicho libro escribía Belt lo siguiente:

"Hace años que intento demostrar que los filones metalíferos en las comarcas graníticas se presentan como un término más de una serie de rocas intrusivas que se van presentando en el siguiente orden: 1.º, intrusión de la masa principal de granito. 2.º, filones graníticos. 3.º, diques de aplita, y 4.º, filones metalíferos, que cortan todas las otras rocas intrusivas. En todas las comarcas formadas por rocas plutónicas que han sido suficientemente estudiadas se comprueba una serie análoga de fenómenos, que culmina en la formación de filones metalíferos, y parece ser, por tanto, que estos filones son resultado también de la intrusión plutónica. Hay algunas veces una completa gradación desde filones de granito perfectamente cristalizado, pasando por otros en que predomina el cuarzo a expensas de los demás elementos, hasta filones rellenos de cuarzo puro, y a veces el mismo filón está en unas partes relleno de feldespato en tanto que en otras contiene masas irregulares de cuarzo, que representan, al parecer, la sílice que quedó sobrante al formarse el trisilicato del feldespato. Los diques de granito, de aplita y de pórfido contienen a veces oro y otros metales, y creo que es muy probable que los filones de cuarzo se hayan formado de la misma manera. Sé que esta opinión es contraria a la mantenida generalmente por los geólogos, de que los filones metalíferos deben su origen a depósitos efectuados por las aguas de las fuentes termales; pero en veinte años que llevo trabajando en minas de oro de varias partes del mundo no he encontrado nunca filones cuyo origen pudiera explicarse de esta manera."

Hasta los primeros años de este siglo no comenzaron los

geólogos a dar beligerancia a opiniones tan razonables y tan razonablemente defendidas desde hacía cincuenta años, y sólo a partir de entonces comenzaron a tomar impulso los estudios metalogénicos. ¡Tanto pueden el prejuicio y la rutina aun entre los sabios, empeñados, no sé por qué, en mantener a toda costa los fueros de un imperialismo científico!

Siguiendo las huellas de Lehmann, de Howit, de Lane y de Thomas Belt, el eminente Ingeniero Edward Spurr, del Servicio Geológico de los Estados Unidos, recogió personalmente tal cúmulo de datos en los criaderos del Canadá, de los Apalaches, de California y de Méjico, que sus estudios, publicados periódicamente con el modesto título de "Professional papers", dieron definitivamente al traste con las viejas teorías de secreción lateral y de relleno de grietas por las aguas termales, y su obra "The Ore magmas", publicada en 1923, la estimo yo como un fuerte aldabonazo dado a la puerta de los laboratorios metalogénicos, y bien harían, a mi juicio, los sabios que investigan los procesos de génesis filoniana desde un punto de vista exclusivamente científico en echar de vez en cuando una ojeada a la obra de Spurr para comprobar si los resultados de sus experiencias concuerdan con los hechos reales y tangibles relatados en las páginas de ese libro, porque la Naturaleza es como es, y se rige por sus leyes, y no se aviene a que los hombres, por muy sabios que sean, traten de imponerle las que a ellos se les antoje.

De entre los muchos casos que cita Spurr en apoyo del origen ígneo de los filones metalíferos voy a mostraros el de los cuarzos auríferos de Silver Peak, en el Estado de Nevada, por ser en el fondo similar al que os referí al principio, de los diques de pórfidos de Cala. Se trata de una inyección de rocas ígneas entre estratos del Cambriano, que comienza con un granito sin mica que los norteamericanos llaman alaskita, porque se encuentra en grandes masas en la península de

Alaska, y termina con cuarzos exentos o casi exentos de feldespato y con oro en cantidades explotables.

La figura que se proyecta en la pantalla (fig. 8) representa la pared de un cañón donde aflora una serie de lentejones de alaskita y cuarzos auríferos. La alaskita pasa por disminución en la proporción de feldespato a filones de cuarzo puro, que tienen con la alaskita la misma relación química y genética que la alaskita con el granito. El cuarzo puro y la alaskita típica forman los términos extremos de una serie de rocas que pasan de unas a otras por tránsitos insensibles. La parte cuarzosa del magma se reunió en masas que dieron origen a una intrusión en cierto modo independiente, a la manera como había ocurrido antes con el magma alaskítico. En todos estos diques se encuentra oro, pero la riqueza en metal aumenta a medida que la proporción de feldespato disminuye, es decir, a medida que el cuarzo se fué segregando en estado de mayor pureza.

El examen de láminas delgadas de la alaskita de estos diques (fig. 9-I) pone de manifiesto que el cuarzo cristalizó después que el feldespato, pues los cristales idiomórficos de feldespato se tocan entre sí y forman a modo de un armazón rígido que, bien por contracción o por empuje del terreno, se resquebrajó antes de cristalizar el cuarzo, de modo que las fisuras del feldespato están infiltradas de cuarzo. En cambio, ni estas laminillas ni los cristales de cuarzo que ocupan el espacio comprendido entre los de feldespato presentan señales de compresiones ni desgarrres. Y se observa otra cosa aún más curiosa. Cuando la roca estaba aún blanda, o si se quiere pastosa, porque el cuarzo no había cristalizado todavía, la presión del terreno determinó en ella hacia los extremos de los lentejones una estructura pseudo-gnéissica, como pone de manifiesto esta otra figura (fig. 9-II). Y digo pseudo-gnéissica porque esa estructura no se debe a la presión ejer-

cida sobre una roca ya consolidada, que habría actuado por igual sobre todos sus elementos, sino que cuando los cristales de feldespato se iban quedando alineados en fajas paralelas a los bordes del lentejón por efecto de la presión del terreno, el cuarzo estaba aún fluido y cristalizó tranquilamente cuando el empuje de las paredes no se hacía ya sentir. Como es natural, al reducirse el volumen del lentejón con el cuarzo aun sin cristalizar, éste tuvo que emigrar, que buscar salida por las grietas y resquicios de la roca de la caja, y así se ven, en prolongación de los extremos de los lentejones de alaskita, láminas de cuarzo que se intercalan entre los lechos de pizarra como entre las hojas de un libro. A la vista de este fenómeno se me ocurre a mí pensar si los procesos de secreción magmática no se desarrollarán siempre en esta forma, es decir, por expulsión de elementos que aun estaban en estado fluido, de una masa magmática en que ya habían cristalizado determinados minerales.

Al llegar a este punto me parece prudente indicar que la asociación del cuarzo y de los compuestos metálicos en los filones es en cierto modo accidental y hasta cierto punto engañosa, pues induce a hacer creer o esperar que todos los filones de cuarzo han de ser necesariamente metalíferos; y no sólo no es éste el caso, sino que, por el contrario, el proceso de diferenciación magmática tiende a separar los compuestos metálicos del cuarzo y a depositarlos separadamente. Esta es una de las leyes que rigen la formación de los criaderos metalíferos, y las comprobaciones que ofrece la Naturaleza de este principio son muchas y convincentes. La mayoría de los compuestos metálicos no abandonan, por decirlo así, el crisol de los grandes hornos de las profundidades plutónicas hasta que la mayor parte de los silicatos y del cuarzo sobrante al cristalizar éstos fueron expulsados del magma e inyectados en las grietas y fisuras de las rocas de la corteza; lo que ocurre

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

SILVER PEAK.- Lentejones de alaskitas y cuarzoes auríferos



Fig. 8.—Alaskitas, y cuarzoes segregados durante el proceso de cristalización. Forma lenticular de las inyecciones magmáticas en zonas de gran presión.



Textura de la Alaskita de los lentejones auríferos de Silver-Peak (Nevada)

■ Feldespato

□ Cuarzo



Fig. 9.—Textura pseudo-gneílica de los lentejones de ALASKITA de la fig. 8.

es que esos compuestos metálicos, o se segregan a la vez que el cuarzo residual o siguen tan de cerca al cuarzo en su marcha ascendente, que aprovechan el camino previamente trazado por éste por ser ese camino una línea de menor resistencia, y ése es fundamentalmente el motivo de encontrarse reunidos en una misma grieta o filón el cuarzo y los compuestos metálicos.

* * *

Antes de seguir adelante, y para que podáis descargar vuestra memoria de muchas de las ideas que he ido exponiendo, y os sea más fácil retener lo que interesa para comprender lo que he de decir luego, voy a recopilar lo referente al proceso de inyección de masas ígneas fundidas, de magmas, en las capas de la corteza terrestre, cuyas fases sucesivas pueden sintetizarse así (fig. 10):

1.^a Movimiento ascensional del magma, obedeciendo a fuerzas o empujes que de momento no vamos a discutir, hasta alcanzar zonas de la corteza en donde esas fuerzas, algo debilitadas ya, bien por la expansión misma del magma, por su enfriamiento progresivo o por el roce con las paredes de las grietas, se equilibran con el peso de los terrenos que gravitan sobre él. Si este equilibrio no llega a establecerse, el magma surge a la superficie dando origen a un volcán y a la consiguiente emisión de lavas y demás materiales que constituyen las coladas eruptivas. En el primer caso, que es el que realmente nos interesa, el magma queda encerrado entre las rocas circundantes, formando una gran bolsa o *lacolito*. Este lacolito, cuyo volumen se mide a veces por centenares de miles de kilómetros cúbicos, desarraigado o desconectado de la masa magmática profunda de donde procedía, se encuentra a partir de ese momento en condiciones de presión y

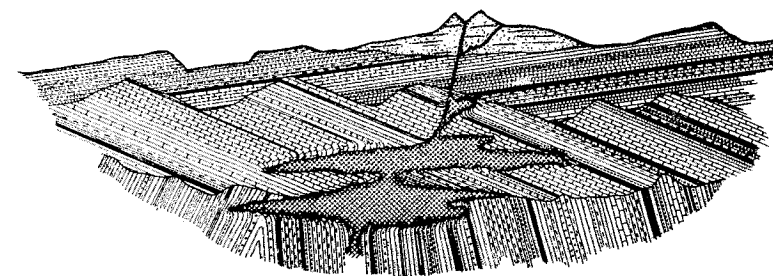
temperatura distintas de las que regían en las zonas profundas donde antes se encontraba, y su equilibrio físicoquímico queda roto. Para adaptarse a las nuevas condiciones tiene que buscar otro estado de equilibrio, cosa que no consigue sino sometiéndose al proceso de diferenciación magmática. El magma, hasta entonces uniforme y con sus elementos constitutivos disociados, comienza a transformarse. Las fuerzas atómicas pueden ya actuar y los elementos se combinan unos con otros para formar diversos compuestos, diversos minerales, que van tomando cuerpo y cristalizando y separándose del resto de la masa fundida en la que estuvieron hasta ese momento disueltos. Y al fin, una parte importante de la masa, convertida en silicatos, se transforma en roca sólida. En la parte que aún queda fundida y que tiene ya, como consiguiente, composición distinta de la del magma primitivo, siguen actuando las fuerzas atómicas, y al producirse cambios en la presión o en la temperatura se forman nuevos edificios moleculares, nuevos minerales, que a su vez saturan el baño fundido y cristalizan y se separan de él, dando origen a rocas de otros tipos. Este proceso se repite una y otra vez hasta que toda la masa magmática, si no recibe nuevas aportaciones del interior, se solidifica.

2.^a Al consolidarse la primera fase rocosa, que en la generalidad de los casos representa la parte más importante del lacolito, las fases restantes de la diferenciación magmática, aun flúidas, si continúa ejerciéndose presión sobre las paredes del depósito ocupado por el magma, se inyectan por las grietas inmediatas y forman masas independientes que cristalizan y se consolidan, unas veces en forma de lacolitos secundarios, otras veces en forma de diques y filones.

Estos lacolitos secundarios, diques o filones, no es corriente que tengan todos la misma composición mineralógica, porque suelen proceder de fases o etapas distintas del proceso

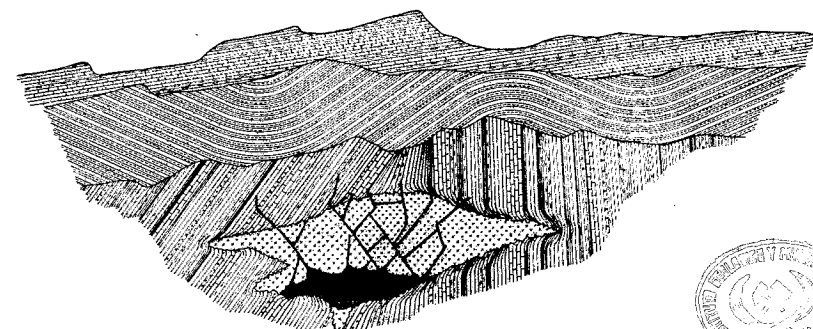
CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA



Esquema demostrativo de la formación de batolitos

Fig. 10.—Representación esquemática de la formación de lacolitos.



Esquema representativo de un batolito con la formación de diques pegmatíticos

Fig. 11.—Esquema de lacolitos con diques pegmatíticos.

de diferenciación; pero, por lo general, son de rocas de composición parecida a la de la masa pétrea principal, si bien con otra textura: porfídica, aplítica, pegmatítica, cada una de las cuales suele llevar, por los minerales accesorios que la acompañan, el sello de la fase diferenciada. En muchos de estos productos de diferenciación se observan ya en cantidades apreciables compuestos metálicos, óxidos y sulfuros, y aun metales puros, los cuales se hallaban en un principio esparcidos por el magma original, y en pequeñas proporciones quedaron aprisionados a veces entre los elementos de la primera fase rocosa al cristalizar ésta, pero en proporciones tan exiguas que pasan inadvertidos o casi inadvertidos.

3.^a Las magmas residuales de la consolidación de la primera fase pétrea (los cuarzos pegmatíticos, por ejemplo) contienen a veces compuestos metálicos en proporción suficiente para dar origen a menas metálicas de valor industrial (fig. 11). Dijimos que en este caso se encuentran los diques de cuarzo, de indiscutible origen ígneo, con oro, casiterita, wolfram y molibdenita.

4.^a Los productos residuales de la consolidación de los magmas que dieron origen a las masas o lacolitos secundarios contienen otra serie de metales que más tarde o más temprano han de segregarse también, acompañados o, mejor dicho, arrastrados en combinación por elementos mineralizadores de diversa naturaleza (oxígeno, azufre, selenio, antimonio, ácido carbónico). Entre esos metales se encuentran, como a continuación veremos, el hierro, el cobre, el cinc y el plomo.

En la conferencia que en el pasado mes de octubre desarrolló en este mismo local mi querido compañero Roso de Luna, maestro, con Romero Ortiz, de cuantos somos aficionados a los estudios de criaderos (a ellos pertenecen en rigor la mayor parte de las ideas que voy exponiendo, y que procuro sacarles con cierta habilidad a través de bizarras discu-

siones en que luchan a brazo partido la ciencia aquilatada de ellos y la práctica ignorantonía), expuso este sabio investigador, con su gran dominio en cuestiones metalogénicas, el proceso de segmentación o diferenciación magmática que yo he esbozado ahora traducido a lenguaje vulgar. Con aquella figura que proyectó en la pantalla y que reproduzco ahora (fig. 12), en la que se dibujan las fases ortomagmática, pneumatolítica e hidrotermal de la diferenciación magmática, y el aumento de tensión que experimenta el magma fluido a medida que van cristalizando los minerales ferromagnesianos y los feldespatos, nos explicó Roso de Luna, de manera estrictamente científica, cómo se originan la fase pétrea propiamente dicha, la pegmatítica y la de las disoluciones o magmas metalíferos a que yo acabo de hacer alusión.

Que esas tres fases principales se producen cuantas veces se repite el proceso de diferenciación de las grandes masas magmáticas es indiscutible; las enseñanzas del gran libro de la Naturaleza lo comprueban y sancionan. Ahora bien: si la composición de las fases ortomagmática y pegmatítica es algo que conocemos con cierta seguridad, de la composición de la fase hidrotermal no podemos decir otro tanto; es tema que se nos presenta aún rodeado de un mar de incógnitas. La composición de la fase ortomagmática de un lacolito la conocemos porque la roca solidificada es una cosa tangible de la que podemos tomar muestras y examinarlas a nuestro antojo; algo parecido cabe decir de la fase pegmatítica, que es más o menos fija en cada caso; pero de la composición de la fase hidrotermal nada sabemos a ciencia cierta, y es difícil determinarla por trabajos de laboratorio, porque es, al fin y al cabo, una fase residual, y como no conocemos la composición íntegra del magma de donde procede, nos falta el dato principal para deducir la suya. De esa fase hidrotermal conocemos solamente productos aislados, nunca su contenido

completo; de ahí que queden siempre en pie una serie de dudas e incertidumbres que no podemos ir desvaneciendo sino a fuerza de consultar una y otra vez el gran libro de la Naturaleza y teniendo siempre presente este hecho mil veces comprobado: que cada vez que una fase diferenciada, pétrea o metalífera, cristaliza y se consolida, queda como residuo un producto más fluido, que bien se inyecta como fase independiente a través de las grietas y fisuras de la parte consolidada, bien se incorpora de nuevo al magma aun fundido, aumentando con ello su movilidad y su fluidez.

* * *

Es de tal amplitud el tema que estamos desarrollando, que pensé en un principio, en gracia a la brevedad, pasar por alto un capítulo que en el estudio de la génesis de los criaderos filonianos podría parecer que no tiene importancia primordial. Los tratados clásicos de criaderos no le conceden mucha; algunos, ni la mencionan. Me refiero al modo como se efectúa la inyección de los materiales magmáticos en las grietas de la corteza para dar origen a los diques y a los filones. No quiero, sin embargo, prescindir de esta cuestión, porque entiendo que está íntimamente ligada al modo de interpretar una porción de fenómenos que intervienen en la formación de los criaderos y al juicio que se forme respecto a la naturaleza y estado físico de las disoluciones magmáticas que precipitan los compuestos metálicos. Y la exposición que voy a hacer a base de hechos observados en el campo y en las minas, y de los que vosotros mismos podréis ir deduciendo consecuencias, quedaría incompleta y sin el apoyo de uno de sus puntales más firmes. En temas como éste no se puede prescindir de prejuicios antiguos y desecharlos y condenarlos sin más ni

más; hay que enfrentarse con ellos y enfrentarlos con hechos observados y bien comprobados.

La teoría más admitida hasta hace algunos años, y que todavía está arraigada en la mente de muchos profesionales de la Minería, es la de que los filones metalíferos se han formado por el relleno o cementación de las grietas de las rocas mediante sustancias depositadas en sus paredes por secreción lateral de las rocas de la caja o por precipitación de materias disueltas en las aguas subterráneas, que bien adquirieron al atravesar éstas las rocas que encontraron a su paso, bien las traían en disolución desde las grandes profundidades de las que en forma de aguas termales juveniles procedían; proceso de deposición que, partiendo de las paredes de la grieta, iba avanzando hacia el centro hasta cerrarla por completo. De este modo se tenía siempre en la imaginación un tipo de filón en fajas o costras, del que rarísima vez se encuentra un buen ejemplar en la Naturaleza. Yo declaro no haber visto ninguno.

Pero esta vieja idea, hasta cierto punto explicable por su aparente sencillez, y que fué otra de las causas que frenaron el progreso de nuestros conocimientos en materia de génesis filoniana, se apoyaba, como van ustedes a ver, en una serie de supuestos que hoy nos cuesta mucho trabajo aceptar: el primero, el de ese fenómeno tan sencillo, al parecer, de las grietas de la corteza. Es indudable que vacíos y oquedades existen en muchas rocas: fisuras y pequeñas grietas en las rocas impermeables, como el granito, las cuarcitas y las pizarras; cavidades mayores, en forma de cavernas, en las calizas. Pero yo quisiera que pensaseis conmigo un momento en esas grietas de las rocas tal como se las imaginaban los mineros del siglo pasado: grietas con sus paredes separadas, situadas a cierta distancia una de otra, en espera de que las rellenaran las sustancias acarreadas por las aguas. Porque la teoría antigua exigía como primera condición la existencia

de la grieta abierta, del filón vacío, si así pudiéramos llamarlo. Ahora bien: una grieta vacía de cinco, de diez, de veinte centímetros, la estimamos cosa admisible sin el menor reparo. Una grieta de medio metro, de un metro, aun nos la imaginamos posible; pero cuando pensamos en que hay filones cuya caja mide dos, tres, diez y hasta veinte metros, con hastiales o paredes inclinadas, y por tanto, con una de ellas en desplome; filones cuya corrida se propaga cinco y seis kilómetros y que alcanzan profundidades donde reinan hoy presiones de más de cien atmósferas, y donde reinaban en la época de formación presiones dobles o triples, porque muchos de los filones que hoy se explotan a 800 y 1.000 metros de profundidad han perdido por denudación una parte importante de su altura y de los terrenos que yacían encima... es inevitable, comencemos a vacilar. Y de las grietas rellenas por rocas ígneas, de los diques, podemos decir otro tanto: un dique de pórfido o de pegmatita de medio metro, de un metro de espesor, no nos repugna admitir que se haya formado por relleno de una grieta preexistente; pero, ¿podemos pensar lo mismo de un dique de 20 metros, de 50 metros, de 100 metros? Dejo la contestación a vuestro juicio.

Y pasemos a otro punto: el del relleno. Los mineros encuentran con frecuencia grietas, aunque, a decir verdad, siempre irregulares y de dimensiones reducidas, por donde circulan a veces caudales importantes de aguas, frías unas veces, calientes otras, ascendentes, descendentes; pero no se ha citado hasta ahora ningún caso en que esas grietas estén en proceso de relleno; más bien ocurre lo contrario. Y esas aguas que el minero encuentra circulando por las grietas no sólo atraviesan grandes masas de rocas, deslizándose entre sus poros y fisuras, sino que en la generalidad de los casos discurren por entre rellenos filonianos, donde les sería fácil cargarse de sustancias minerales, y, sin embargo, nada pre-

cipitan. No conozco más excepción a esta regla que los depósitos tobáceos que abandonan las aguas que circulan por terrenos calizos, y eso sólo en los puntos en que se ponen en contacto con el aire y al recobrar la presión atmosférica, porque en las grietas donde el aire no tiene acceso, el agua disuelve la caliza en vez de precipitarla.

Pero hay, sobre todo, un hecho concreto e indiscutible: que con los miles y miles de kilómetros de galerías de minas abiertas en las cinco partes del Mundo, a las profundidades más diversas, que han cortado grietas de todos tamaños y en toda clase de rocas, por las que circulan aguas frías, calientes, descendentes y ascendentes, no se ha encontrado hasta ahora un sólo filón en vías de formación. Y es que, por lo visto, éstos se forman en regiones de la corteza adonde el minero no ha podido llegar, bien por su mucha profundidad o su mucha temperatura y en condiciones que desconocemos en absoluto. No hay que perder de vista que nuestros primeros esfuerzos para desentrañar la génesis de los filones metalíferos se apoyaron en la comparación con fenómenos vistos por nosotros, y así nos empeñábamos en penetrar en un mundo desconocido y en aplicarle las leyes que rigen en el mundo que conocemos, sin reparar en que esa generalización es de todo punto imposible.

* * *

¿Cómo se han formado, entonces, los filones—preguntaréis—si ni siquiera debemos admitir la existencia de grietas vacías en las rocas de la corteza? Para comenzar a contestáros voy a volver a los lentejones de alaskita y de cuarzos auríferos de Silver Peack, de los que os hablé ya a propósito de los fenómenos de segregación magmática y de la naturaleza ígnea de la mayoría de los filones de cuarzo.

La figura que se proyecta en la pantalla representa (figura 8), como os dije, un corte natural del terreno, determinado por la pared vertical de un cañón en la mina "Drink watter". Veis en ella una faja del acantilado acribillada por las intrusiones de alaskitas y cuarzos. Las primeras aparecen en rojo; las segundas, en azul. La roca de caja es pizarra calcárea cambriana, intercalada entre bancos de caliza convertida en mármol. La faja en que arman los lentejones tiene aproximadamente kilómetro y medio de corrida y buza unos 45°. Los lentejones son paralelos a la estratificación de las pizarras, y a veces no terminan en cuña, sino en forma ahorquillada, quedando entre las ramas de la horquilla lechos de pizarra. Estas masas lenticulares tienen la forma que adquirieron en la época de la inyección; es decir, que no se trata de diques tabulares seccionados y laminados por presiones del terreno posteriormente a la consolidación del magma ígneo. Ni la alaskita ni el cuarzo tienen textura pizarreña, a pesar de que la tienen las rocas de la caja, y además los lechos de pizarra contornean con gran regularidad los bordes de los lentejones.

Si tratáramos de explicar la formación de esas masas lenticulares por la teoría del relleno de grietas preexistentes tendríamos que admitir los mayores absurdos. ¿Cómo podríamos imaginarnos cavidades vacías de 15 a 20 metros de altura, 150 a 200 de longitud y otro tanto de ancho? Y si esas cavidades hubieran podido producirse y mantenerse abiertas a la profundidad de varios miles de metros, ¿cómo no se originaron en las capas calizas de la misma formación cambriana, mucho más resistentes, y sí entre los deleznales lechos pizarreños?

La razón es clara. El que esas inyecciones de alaskitas y cuarzos diesen origen a una serie de lentejones contiguos y algo imbricados y no a diques tabulares continuos fué motivado por circunstancias de orden físico o, si se quiere, estático: el empuje del magma intrusivo y la resistencia opuesta



por la presión del terreno se equilibraron en esta zona de la corteza. La presión del magma, que buscó paso a través de las pizarras y no de las calizas por ser las pizarras menos resistentes y más exfoliables, no fué lo bastante fuerte para separar los estratos en grandes extensiones, y esa presión sólo pudo mantener separadas las paredes de la caja donde éstas se arquearon y a la manera de la bóveda o arco de un puente pudieron soportar parte del propio empuje. Es posible que el magma intrusivo se extendiera más en un principio; pero si así ocurrió, al disminuir su presión propia por efecto de la inyección misma y ante el empuje de las paredes, los diques hubieron de quedar cortados de trecho en trecho para buscar apoyo en los arcos de descarga. Pero en todo caso, la transformación de diques más continuos en lentejones tuvo lugar antes de que el magma se consolidara, antes de que el cuarzo cristalizara, como lo demuestra el examen microscópico de la roca, cuyos resultados ya os expuse anteriormente.

Estos diques de cuarzo aurífero de forma lenticular son característicos de los terrenos antiguos del Canadá y de los Estados Unidos, y sólo afloran donde la denudación ha sido enorme, pues deben haberse formado a profundidades grandísimas. Los geólogos norteamericanos suponen que a varios kilómetros de la superficie. Tanto por sus condiciones de yacimiento como por los caracteres físicos del cuarzo, son idénticos a los de cuarzo aurífero de Alaska, de los Apalaches e incluso de Australia, y aparte del oro contienen pocas sustancias metálicas: algo de plata, pirita arsenical y calcopirita diseminada y telururos de oro.

El oro está en estado metálico y se desprende tan fácilmente del cuarzo y de los sulfuros que para extraerlo basta moler ligeramente el mineral y amalgamarlo. Este tratamiento sencillo permite explotar cuarzos cuyo contenido en oro no pasa de siete gramos en tonelada, en tanto que los cuarzos

de los filones auríferos superficiales de edad terciaria necesitan molerse hasta reducirlos a polvo impalpable y cianurarlos luego para poderles separar el oro. El procedimiento es mucho más costoso, y se necesita contar con una ley doble en metal para poderlos explotar económicamente.

Algunos de esos diques de cuarzo aurífero, pegmatítico o magmático, presentan fisuras tapizadas de pirita arsenical también aurífera. Esto indica una nueva intrusión de disoluciones magmáticas diluidas y una cristalización de la arsenopirita ligeramente posterior a la del cuarzo. A veces se encuentran vetas de pirita arsenical de varios centímetros de espesor en el techo de los lentejones y con altas leyes de oro. La localización de estas vetas en los hastiales del dique se explica del mismo modo que el de las láminas delgadísimas de mispíquel que se encuentran en las fisuras del cuarzo. Es lo más probable que las disoluciones magmáticas que precipitaron las piritas auríferas, y que procedían de la misma fuente común, siguieran en su marcha ascendente la trayectoria del cuarzo y cristalizaran en el mismo lugar que éste por no haber encontrado otro sitio más a propósito que las grietas producidas en el cuarzo recién cristalizado al contraerse.

Vemos, pues, que la coexistencia en esos diques de cuarzo y de pirita, calcopirita o arsenopirita no quiere decir que estos compuestos metálicos se inyectaran en su totalidad a la vez que el cuarzo; por el contrario, es de suponer que existieran dos fases, mejor o peor separadas, en el proceso de génesis filoniana: la primera, la inyección de cuarzo; la segunda, la de los sulfuros metálicos.

Si esta suposición es cierta ha de verse confirmada por los hechos, es decir, hemos de encontrar filones en que los sulfuros metálicos rellenen por completo la caja, sin vetas ni grandes cantidades de cuarzo interpuestas en su masa. Y así ocurre en efecto.

Voy a mostraros un caso típico: el criadero de la mina "Mandy" en Schist Lake (Manitoba, Canadá) (fig. 13). Se trata de un depósito de menas sulfuradas de forma lenticular, que arma en rocas pizarreñas verdes que fueron probablemente en su origen tobas volcánicas. Tiene unos 65 metros de longitud y 12 ó 14 de anchura media. Acuña en profundidad y a los 70 metros desaparece prácticamente. La sección transversal indica que el lentejón perdió por erosión más de la mitad de su altura, de modo que primitivamente fué casi dos veces más alto que largo. El relleno se componía de sulfuros en masa, sin cuarzo apenas. Calcopirita y blenda eran sus componentes más destacados, y aun cuando a veces se presentaban inter laminados, solían ocupar partes distintas del criadero, hasta el punto de que fué posible arrancar separadamente la calcopirita y expedirla sin más preparación a la fábrica metalúrgica. Este mineral era de grano fino y uniforme y del color y la textura del bronce. La blenda tenía también grano fino y uniforme, y en las fracturas, salvo por el color rojo oscuro, aspecto de hierro fundido.

Del estudio de los afloramientos, de las canteras abiertas para el arranque del mineral y del análisis de muchas muestras de la mena, principalmente de la calcopirita, se pudo deducir que el orden de deposición había sido el siguiente:

1.º Vetillas de cuarzo blanco y de piritita de hierro granulada, introducidas por las fisuras de la roca, cortadas por la grieta primitiva.

2.º Blenda compacta, densa y homogénea. Esta blenda contenía algunas fajitas de piritita cuprífera, de color más pálido y de menor contenido en cobre que la calcopirita de la deposición siguiente, y tan entremezcladas con la blenda que denotaban una típica textura fluidal, demostrando que la blenda y la piritita cuprífera formaban en el momento de la inyección una sustancia plástica, espesa.

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

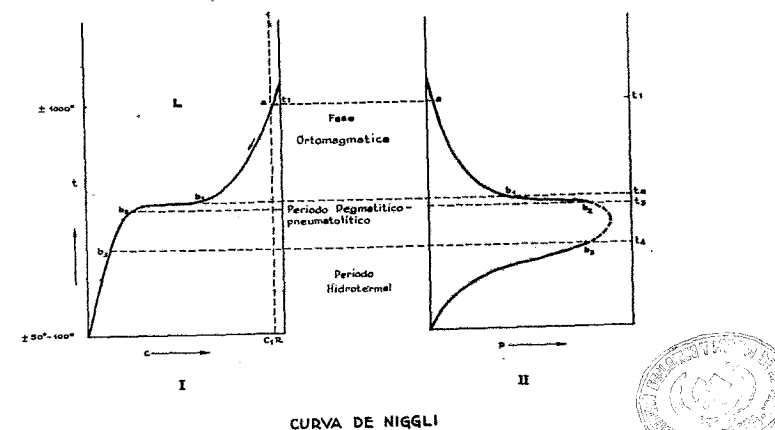


Fig. 12.—Fases sucesivas de la diferenciación magmática.

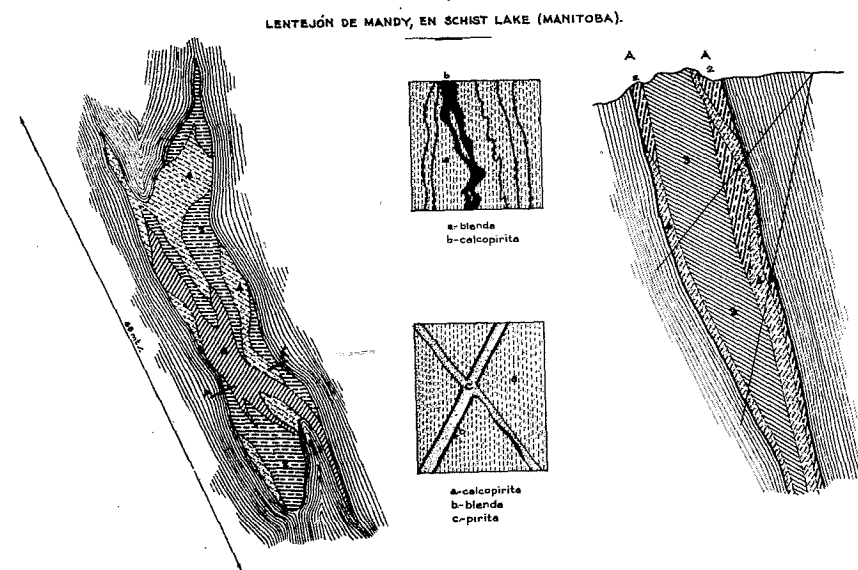


Fig. 13.—Inyección de masas de sulfuros plásticos, sin gangas.

3.º Esta masa de sulfuro de cinc, cuya ley en metal era del 30 por 100, se rajó, y por las grietas se introdujo una masa de calcopirita homogénea en cuanto a textura y color, salvo por algunas vetillas de blenda, como la acabada de describir, que la cruzaban. La ley en cobre era, por término medio, del 25 por 100. Aunque la blenda de las vetillas que se interponían en la calcopirita era idéntica a la del número 2, no pertenecían ambas al mismo período de inyección, porque la masa de sulfuros número 3 penetraba a veces en forma de laminillas ramificadas en la blenda del número 2.

Los dos períodos principales de deposición de menas, el primero de blenda y el segundo de calcopirita, fueron intrusiones de sulfuros plásticos. La viscosidad de la masa debió ser análoga a la del alquitrán, o a la de esas rhyolitas y obsidianas que muestran textura fluidal, en bandas delgadas. Algunos de los hileros de calcopirita observados en la blenda eran ondulados y hasta almenados a consecuencia de una corriente que avanzaba y retrocedía, y los efectos eran diferentes en bandas paralelas próximas, demostrando que en ciertos trayectos la mena circulaba con más rapidez que en otros.

4.º Las masas de sulfuros descritas se fisuraron y cuartearon, y en las grietas se efectuaron nuevos depósitos de minerales: *a*), blenda que tapizó las paredes de las fisuras, y *b*), pirita con algo de cobre que las rellenó. Este depósito número 4 contenía, aproximadamente, un 50 por 100 de cuarzo intercristalizado, en tanto que los sulfuros en masa de cinc y cobre no contenían cuarzo visible, y era preciso tallar la mena en lámina delgada y observarla al microscopio para poder distinguir finísimas líneas de este mineral. El estudio microscópico de los minerales que constituían esta cuarta inyección demostraba que las disoluciones que los precipitaron habían sido más silíceas, más flúidas y probablemente más acuosas que las anteriores.

Las rocas de la caja del criadero de Mandy mostraban muy poca silicificación e impregnación de sulfuros. En los hastiales de las masas de blenda y calcopirita no se apreciaban fenómenos de sustitución, y lo mismo puede decirse de las inclusiones o caballos de pizarra incluidos en la mena.

La gran riqueza en cobre de Mandy se debió exclusivamente a la calcopirita primaria, pues la mena no había experimentado ningún enriquecimiento secundario por la acción de las aguas superficiales. Toda esa zona del Canadá estuvo sometida a los efectos de la glaciación durante la época cuaternaria, y cualesquiera que hubieran podido ser las alteraciones experimentadas por los afloramientos de la masa, sus productos fueron arrastrados por el hielo, así es que al quitar la costra de líquenes y musgos que cubría el criadero aparecieron los sulfuros, compactos e inalterados.

En la misma comarca canadiense de Schist Lake existen grandes yacimientos de pirita y pyrrhotita con leyes muy bajas de cobre y cinc. El único que contiene proporción apreciable de sulfuros de valor comercial es el de Flin-Flon, el primero que se descubrió en aquel distrito y que se halla a unos cuantos kilómetros al N. del de Mandy, en la dirección marcada por el eje mayor de este criadero. Consiste en sulfuros compactos y en sulfuros que reemplazan la roca de la caja de las maneras más diversas.

Como mi objeto en esta primera conferencia es hacer patente el modo de formación de los criaderos filonianos y la manera como se han inyectado los magmas metalíferos y han llegado a ocupar las menas metálicas la posición en que hoy las vemos, he de hacer resaltar que los ejemplos que llevo citados demuestran que tanto masas de cuarzo aurífero (lentejones de Silver Peak), como de sulfuros (Mandy y Flin-Flon), se han abierto paso por su propio empuje, inyectándose a manera de magmas hipogénicos por entre fisuras

insignificantes de la corteza, que ellas mismas fueron ensanchando al inyectarse, que cristalizaron allí sin haber experimentado, al parecer, más diferenciaciones o concentraciones que las que habían tenido lugar en el laboratorio del magma de donde procedían, y que como residuo de esas cristalizaciones quedaron libres disoluciones más fluidas y más cargadas de agentes mineralizadores, que se infiltraron por los resquicios de las primeras masas minerales consolidadas y por las fisuras de las rocas de la caja, atacando a éstas, disolviéndolas, arrastrándolas y sustituyendo poco a poco su sustancia por algunos de los elementos, metálicos o no, que contenían.

* * *

Al referirme a esa clase de yacimientos, en que de manera tan clara se manifiesta la acción de dos disoluciones magmáticas de tipo distinto, derivadas seguramente por diferenciación de una misma masa fundida, no quiero pasar por alto los yacimientos españoles de piritas ferrocobrizas, que si como menas de cobre no tienen gran riqueza, han llegado a constituir el 50 por 100 de las reservas mundiales de piritas, y por las dimensiones de alguna de sus masas y su contenido en azufre son, sin duda, las más importantes del mundo. Me refiero, como ya podréis suponer, a los criaderos de Huelva.

El distrito pirítico de Huelva está enclavado en una formación pizarreña perteneciente en parte al Siluriano y en parte al Carbonífero inferior o Culm, atravesada por multitud de masas hipogénicas que afectan por lo general la forma de grandes diques, alineados paralelamente a la dirección de los pliegues hercinianos. Estos diques ofrecen gran variedad de composición mineralógica y de textura, encontrándose desde rocas básicas como dioritas, gabros y doleritas, hasta pór-

fidios muy ácidos, compuestos principalmente de cuarzo y feldspatos y a veces de cuarzo casi puro.

Su proximidad y mutua dependencia permite suponer que proceden de un magma común de acidez media, que por diferenciaciones sucesivas dió origen a distintos tipos de rocas intrusivas. La primera fase consolidada de este magma común podría estar tal vez representada en la enorme masa de rocas granitoides que más al E. y al NE., dentro ya de la provincia de Sevilla, aflora en extensiones inmensas en forma de granitos, dioritas y diabasas, y que también en muchas ocasiones, como os expliqué que ocurría en Cala, están cruzadas por diques de pórfidos intrusivos análogos a los de Huelva.

Cualquiera que sea el origen que se quiera reconocer a los excepcionales criaderos de pirita onubenses no se puede cerrar los ojos hasta el punto de quererlos independizar genéticamente de las intrusiones porfídicas, pues las masas de pirita unas veces arman en los mismos pórfidos, otras en su contacto con las pizarras que atraviesan, otras, en fin, dentro de las pizarras, pero no lejos de los asomos hipogénicos. Muchas opiniones se han manifestado a propósito de la génesis de estos criaderos, opiniones que no voy a discutir ahora, porque además, en lo fundamental, son más o menos coincidentes; pero quiero presentaros algunas secciones de las masas de Riotinto mejor conocidas por su avanzada explotación, para que podáis apreciar cómo se acondicionan en lo que para ellas constituye, por así decirlo, el medio ambiente, las rocas de la corteza en que se albergan, las rocas de caja, como dicen los mineros, e indicaros de paso las posibilidades que en materia genética parecen más admisibles, dejando siempre el camino expedito para que vosotros podáis formar vuestro juicio.

En esa sucinta descripción de algunos de los criaderos haré resaltar principalmente las características que pueden servir para interpretar su génesis.

Esta figura representa una sección de la parte central de la masa de San Dionisio, el criadero mayor de Riotinto (figura 14). Tiene esta masa 1.060 metros de longitud, y en sus niveles superiores se une a la Masa Eduardo, que la prolonga 100 metros más en dirección E. En algunos sitios, la masa de pirita compacta tiene, sin soluciones de continuidad, 280 metros de anchura, y con sondeos se ha comprobado que se prolonga por lo menos hasta 485 metros de la superficie.

En la parte alta, el criadero está encajado entre un hastial de pizarras y otro de pórfidos; pero a partir de cierta profundidad la mena está comprendida en su totalidad entre hastiales de pórfido. Un cepellón de pórfido calcopirítico forma generalmente el yacente o hastial norte de la masa, pero su potencia tiende a disminuir hacia el O., y en el extremo occidental del criadero la mena compacta descansa sobre un pórfido blanco, descompuesto, prácticamente estéril. Los contactos de la masa de sulfuros con los hastiales están delimitados con precisión (donde éstos están formados por pórfido pizarreño; pero donde el pórfido conserva su textura normal, el paso del sulfuro en masa al sulfuro diseminado es gradual e imperceptible. Los filoncillos calcopiríticos que cruzan el pórfido se extienden hasta 200 metros al N. de la masa de pirita, pero su número va disminuyendo a medida que nos separamos de ella.

Los pendientes, de pizarra, están por lo general mejor definidos que los yacentes, de pórfido, y aun cuando el paso de la pizarra a la mena suele ser brusco, se dan casos en que el sulfuro de hierro en masa pasa gradualmente a la pizarra. Sin embargo, estas zonas de tránsito miden sólo unos centímetros. Aparte de esto, las pizarras manifiestan indicios de metalización desde varios metros antes de alcanzar el pendiente del criadero.

A Levante de la Masa de San Dionisio, o, mejor dicho,

de la Masa Eduardo, que, como ya dije, es su prolongación oriental, se halla la Masa Sur, separada de la anterior por una falla transversal de edad posterior a la metalización, que produjo un salto de cerca de 200 metros en sentido horizontal. Esta Masa Sur tiene 1.350 metros de longitud, y anchuras variables hasta de 100 metros, con un promedio de 35. Se estrecha y acorta en profundidad, pero está reconocida hasta 300 metros de la superficie.

Como las masas de San Dionisio y Sur formaron una sola antes de producirse la falla que ahora las separa, resulta que el criadero tiene en realidad 2.500 metros de longitud. Es, desde luego, el mayor de Riotinto y de toda la provincia de Huelva.

El mineral de estas masas es pirita compacta, cuyo color, blanquecino o amarillento, depende del contenido en cobre, que oscila entre el 1 por 100 (mineral pobre) y 4,5 por 100 (mineral rico) y tiende a disminuir en profundidad; pero esta disminución se debe a que baja la proporción de sulfuros secundarios, no a un empobrecimiento de la ley en cobre de los minerales primarios.

En las masas a que nos hemos referido hasta ahora, San Dionisio y Sur, las altas leyes en cobre primario, se presentan preferentemente hacia el pórfido del yacente, circunstancia que se hace resaltar en las figuras, y es un hecho significativo que exista una marcada correspondencia entre el contenido en cobre primario del mineral en masa y el de los sulfuros diseminados que impregnan el pórfido del yacente. Uno de los ejemplos más notables de este paralelismo se presentó en el borde sur de la Masa de San Dionisio, donde se descubrió una masa de mineral rico en cobre sobre la cresta de un saliente de pórfido pizarreño. La riqueza cuprífera de esta masa se debía a la existencia de una red de filoncillos de calcopirita, inyectados en la pirita de baja ley circundante des-

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

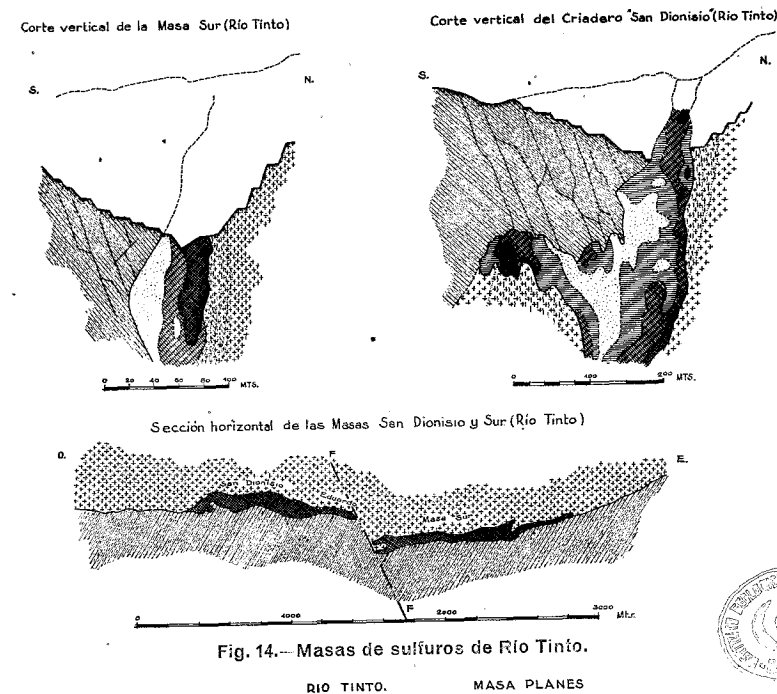


Fig. 14.—Masas de sulfuros de Río Tinto.

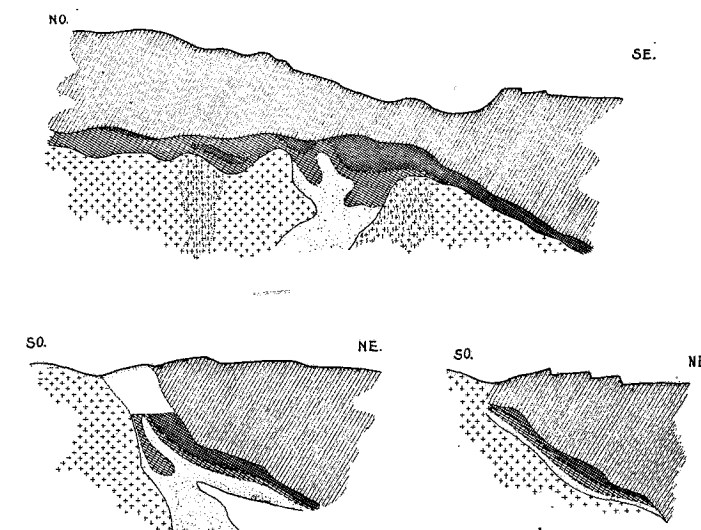


Fig. 16.—Masa "Planes" de Río Tinto.

pués de la solidificación de ésta, y en el pórfido que le servía de base se encontró un cepellón calcopirítico, dando a entender que las disoluciones cupríferas habían ascendido a través de las grietas ramificadas de la roca hipogénica y rellenado las fisuras abiertas en la pirita de baja ley que se encontraba encima, ya consolidada. En algunos puntos de la Masa Sur se han encontrado porciones de mena pirítica ricas en plomo y cinc, que descansaban precisamente sobre cepellones en que las raicillas eran de sulfuros de estos metales; esto comprueba la exactitud de la anterior suposición.

Las pizarras que bordean por el Sur la masa de San Dionisio, como también las que se encuentran a lo largo de las masas Planes y Valle, están cruzadas por bastantes filones rellenos de cuarzo y carbonatos que cortan oblicuamente la dirección de los planos de crucero de dichas pizarras, y que se propagan a veces hasta 200 metros de distancia del pendiente de los criaderos. El carbonato que más abunda es el de calcio, impurificado con pequeñas cantidades de hierro, magnesio y bario; no es raro encontrar en ellos esa subespecie intermedia entre la calcita, la dolomita y la siderosa, llamada ankerita. A veces los pórfidos contiguos a las masas de mineral están también cruzados por filones de esta clase, y algunas masas de pirita contienen del mismo modo vetas de calcita. (En las pizarras más alejadas de los criaderos también existen filones de cuarzo, pero muy rara vez de carbonatos, y sin indicios de sulfuros.)

Esos filones de cuarzo y carbonatos son sin duda producto de las disoluciones residuales de la mineralización piritosa, y su hallazgo en zonas del distrito donde las pizarras presenten señales de haber sufrido esfuerzos de torsión puede considerarse como indicio favorable para el descubrimiento de criaderos ocultos, de los que necesariamente tienen que existir bastantes en la provincia de Huelva, pues no es posi-

ble que todas las masas piríticas que en su día se formaron interfieran con la topografía actual y afloren en la superficie.

De las descripciones que anteceden salta a la vista que en los criaderos de Riotinto, como en los de Mandy y Flin-Flon, se pueden distinguir dos fases en la deposición de las menas: la primera, en Huelva, de pirita de hierro en masa compacta, y la segunda, de calcopirita acompañada de pirita, y de galena y blenda en menores proporciones. Esta segunda inyección, al haber penetrado por las fisuras de los pórfidos y de la pirita ya consolidada, debió producirse en estado de disolución muy diluída, que llegó hasta a infiltrarse en las pizarras, silicificándolas; en cambio la pirita en masa parece haberse inyectado en estado de material pastoso, puesto que no ejerció acción mineralizadora sobre las rocas de la caja.

Dijimos antes que no se podía negar cierta relación genética entre estos excepcionales criaderos de pirita, los mayores del Mundo, y los pórfidos, en cuyo seno o en cuyas cercanías arman, y, en efecto, la gran cantidad de cristales de pirita diseminados en la masa de los pórfidos, formando lo que los mineros del país llaman "azufrones", ha hecho suponer a algunos geólogos que el magma pirítico ascendió de las profundidades donde tuvieron lugar los fenómenos de diferenciación magmática, emulsionado con el magma pétreo de los pórfidos, y que la separación de ambos magmas tuvo lugar al cesar el movimiento ascensional del conjunto, o sea, al remansarse la corriente magmática. Entonces se habrían reunido las gotas de sulfuro para formar una masa independiente, a la manera de lo que ocurre con una emulsión de aceite y agua, en la que el reposo provoca la reunión de las gotas de grasa. Los cristales de pirita diseminados en el pórfido podrían considerarse, según esto, como restos del magma sulfuroso que no pudieron separarse o escapar del magma pétreo por su rápido espesamiento y la subsiguiente solidificación.

A esa apreciación se pueden oponer dos objeciones: la primera, que en las pizarras lindantes con los criaderos se encuentran también "azufrones", y claro es que el material sedimentario de las pizarras no pudo estar nunca mezclado con el magma piritico; la segunda, que los cristales de pirita que se hallan dispersos en la masa de los pórfidos están rodeados de aureolas lenticulares formadas por laminillas de cuarzo y carbonatos. Esta microfotografía (fig. 15) muestra la sección de un pórfido con cristales diseminados de pirita

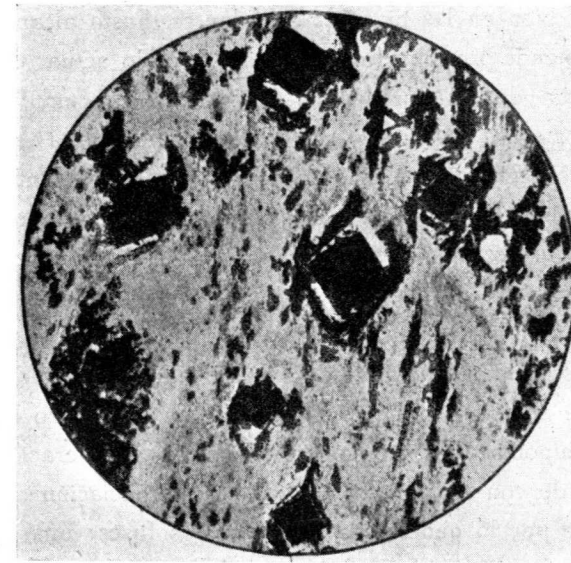


Fig. 15 —Pórfido con sulfuros diseminados (azufrones).

que se hallan envueltos por una primera capita de cuarzo que ha crecido normalmente a las caras de los cristales, cubierta por otra exterior de calcita con pequeñas fibras de sericita. Estas aureolas que rodean a los núcleos de pirita parecen debidas a la separación de los elementos del pórfido por la fuerza de cristalización del sulfuro de hierro, y a su relleno

posterior con cuarzo cristalino y calcita, procedentes de la disolución estéril residual. Las pruebas están, pues, a favor de que los sulfuros diseminados se introdujeron en el pórfido después de la solidificación de éste, y que se encuentran en el mismo caso que los cristales de pirita diseminados en el seno de las pizarras.

En resumen: parece más lógico admitir que el magma pirítico principal se inyectó en estado de masa pastosa por su presión propia a lo largo de los contactos de los pórfidos con las pizarras o a través de grietas iniciadas, bien en los pórfidos, bien en las pizarras colindantes, hasta alcanzar zonas de menor presión, donde el magma pudo actuar de cuña separadora de las paredes de las grietas y acumularse en grandes masas. La forma de la Masa Planes (fig. 16) parece a este respecto bastante instructiva, pues se presenta como una chimenea o árbol que cruza una masa de pórfido y se extiende luego en forma de manto al alcanzar la superficie de contacto del pórfido y las pizarras del techo. Un magma pétreo que hubiese tratado de abrirse paso entre rocas ya consolidadas no habría actuado de distinta manera. La Masa Planes tiene en este sentido el aspecto de un verdadero lacolito.

Esa hipótesis, que yo someto a vuestra consideración, está de acuerdo con el proceso general de diferenciación de magmas, que por lo general da origen a dos fases: una pastosa y seca, o aplítica, y otra flúida y acuosa, o pegmatítica. Podría presentaros infinidad de ejemplos de criaderos que parecen haberse formado de manera análoga; pero no quiero cansar vuestra atención, ni que creáis que pretendo defender un punto de vista determinado. Ya os dije al principio que me limitaría a exponer los hechos que yo había creído comprender y por el orden en que me había ido dando cuenta de los mismos.

* * *

Mas aunque satisfagan al espíritu estas concepciones de magmas metalíferos que en estado de disoluciones más o menos densas y concentradas o más o menos diluídas se inyectan por su propia tensión, o por la presión que ejercen sobre ellas las paredes del receptáculo que las contiene, en grietas y fisuras pequeñas, que ellas mismas van ensanchando a su paso, hemos de confesar que nuestra inteligencia no alcanza a concebir el estado físico de esas disoluciones magmáticas, que en nada se parecen y en modo alguno son comparables a las disoluciones que estamos acostumbrados a manejar en los laboratorios.

Algo, sin embargo, podemos vislumbrar de esos estados físicos especiales por algunos fenómenos curiosos que con relativa frecuencia se observan en los rellenos filonianos cuando se busca y se mira en ellos algo más que el espesor que tiene la fajita de mineral aprovechable.

Había observado yo en varias ocasiones, y no sin sorpresa, que embutidos en la masa metálica de un filón se encontraban, bien lascas o esquirlas de la roca de la caja, bien trozos angulosos de un mineral distinto. Recuerdo que siendo alumno de la Escuela, y durante un viaje de prácticas en que visitamos la mina "Cuatro Amigos", de Posadas, me pasé largo rato contemplando un frente de arranque, un tajo, donde el filón presentaba el siguiente aspecto: Hacia los hastiales, de pizarras revestidas de cuarzo, contenía el filón dos fajas como de 20 a 25 centímetros de pirita de hierro compacta (figura 17-I) con algo de cuarzo interpuesto, y en el centro una hermosa metalización de galena argentífera, creo que con algo de blenda. Como veis, un buen ejemplo de filón en fajas o costriforme de los que preconizaban los defensores de las antiguas teorías sobre génesis filoniana. Lo que más llamó mi atención fué que en la faja central de galena destacaban de vez en cuando trozos angulosos y con aristas vivas de la

con alguna cantidad de cuarzo, que por la acción selectiva de las paredes, por ese fenómeno en virtud del cual ya vimos cómo en los diques pegmatíticos se segregaba unas veces el cuarzo y otras el feldespató sobre los hastiales, se fijó principalmente sobre las paredes de la grieta, revistiéndola con una capa uniforme de unos centímetros de espesor.

Este filón se rajó cuando ya la pirita estaba consolidada, y por la fisura longitudinal así producida tuvo lugar la inyección de galena argentífera. Al producirse la grieta e irse ensanchando por la presión ejercida por el magma de plomo, se fueron desprendiendo de los bordes, cosa natural e inevitable, los trozos de pirita que habían quedado medio sueltos, y que la masa de galena, aun en estado pastoso, fué englobando y empastando. Ahora bien: para que esto pudiera ocurrir, dos condiciones fueron precisas: 1.^a Que la galena se fuera inyectando a medida que la grieta se abría, que las paredes se separaban. 2.^a Que la masa de galena en el momento de la inyección tuviera una densidad o viscosidad tal que los trozos de pirita, con densidad aproximada de cinco, pudieran flotar en ella. Si admitimos que la densidad de la mena de galena es 7, para que la pirita pudiera flotar en la disolución o emulsión que precipitó la galena fué preciso que la disolución contuviera dos tercios de su peso de galena, suponiendo que el resto fuera agua. Y no me negaréis que una disolución o emulsión con el 66 por 100 de sulfuro de plomo es un tipo de disolución que no podemos concebir, porque en nada se parece a las que estamos acostumbrados a manejar en los laboratorios de Química.

El filón de "Cuatro Amigos" es un clásico filón de reapertura, filón compuesto que se formó en dos tiempos, en dos etapas, cosa frequentísima, porque las grietas de la corteza en donde se forman los filones son planos o superficies de mínima resistencia, que a pesar de quedar consolidadas hasta

cierto punto cuando se inyecta en ellas a modo de cemento o mastic una masa mineral, tienen marcada tendencia a reproducirse tan pronto como se produce en el terreno el menor movimiento.

Este otro filón (fig. 17-II), que pertenece al sistema de Linares, es un caso análogo: el filón primitivo de galena se rajó aproximadamente por el centro y además se despegó de los hastiales, y por las grietas así producidas se introdujo una masa de calcita, producto de las disoluciones residuales, que en el mismo distrito forman a veces filones independientes estériles. Obsérvese aquí los contornos angulosos, cortantes, de la grieta producida en la galena, que no han perdido las aristas vivas, como habría ocurrido fatalmente si la grieta hubiera permanecido abierta algún tiempo antes de inyectarse la calcita, y cómo se ven también trozos de galena y hasta trozos de la roca de la caja, es decir, de los hastiales del filón primitivo, embebidos en el nuevo relleno.

De la independencia de las inyecciones de galena y calcita en este distrito da fe este otro filón cortado en el tercio de "San José", de Arrayanes, a 436 metros de profundidad (fig. 17-III); la calcita, que en el filón anterior se inyectó por el centro de la faja de galena, en este otro penetró por el costado, siguiendo la fisura de un dique de granito descompuesto que ocupa parte de la caja del filón. Prueba evidente de que la calcita no subió mezclada con la galena.

Y, por último, este otro interesantísimo filón de calcopirita, de las proximidades de Reinosa (Santander) (fig. 17-IV). Arma en areniscas triásicas, cuyas capas horizontales corta aproximadamente en ángulo recto, pues el filón es vertical. Primeramente se inyectó en la grieta una masa de cuarzo magmático, seco, aplítico, que en su empuje hacia arriba arrastró trozos de las pizarras paleozoicas que forman allí la base del Trías, si bien Dios sabe a qué profundidad, y que han

quedado adheridas al cuarzo, demostrándose con ello, una vez más, cómo los magmas se inyectan a presión enorme por las fisuras de la corteza. Este estrecho filón de cuarzo magmático se rajó longitudinalmente, y por la nueva grieta se introdujo una disolución que contenía cuarzo y calcopirita. El cuarzo cristalizó como cuarzo hidrotermal en cristales hexagonales apuntados por pirámides, preferentemente en los bordes de la grieta (acción selectiva de las paredes), y en el centro, la calcopirita.

Como casos típicos de filones metalíferos con inclusiones de la roca de la caja se citan en las obras de criaderos los del distrito de Georgetown, en el Estado del Colorado. Disoluciones magmáticas de blenda granudo-cristalina con el 15 por 100 de galena y otro 15 por 100 de pirita se inyectaron en grietas del terreno precambriano—gneisses, pizarras, granitos y pegmatitas—, correspondiendo estas dos últimas rocas a intrusiones sucesivas y complicadas de un magma granítico en las formaciones prehistóricas (prehistóricas en el sentido geológico de la palabra, es decir, anteriores al Cámbrico) que forman el subsuelo de aquel país.

Del filón "Mendota", y del techo de una galería, está tomada esta figura (fig. 17-V), que muestra multitud de trozos angulosos de granito empastados en la masa metálica de la blenda.

Esta otra (fig. 17-VI) representa una sección vertical del filón "Phillips", que ofrece la particularidad de tener por hastiales rocas distintas: granito en el yacente y gneiss en el pendiente. Pues bien: todos los trozos de roca que forman las inclusiones son de gneiss, es decir, todos proceden del pendiente. La posición de estas inclusiones en la zona del yacente del filón indica que la gravedad actuó en cierto modo para acumularlas donde están; pero también está bien manifiesto que la acción de la gravedad fué contrarrestada por la

densidad o pastosidad de la disolución que precipitó la blenda, pues de lo contrario las inclusiones habrían caído al fondo de la grieta, dada la fuerte inclinación de sus paredes.

Podemos, como en el caso de "Cuatro Amigos", formarnos una idea de la naturaleza de la disolución que depositó el relleno metálico del filón "Phillips", pensando que la densidad del gneiss en cuestión es 2,74; que el peso específico de la blenda es de 3,9 a 4,2; el de la galena, 7,25 a 7,70, y el de la pirita, de 4,83 a 5,20. Si admitimos como composición media del mineral 70 por 100 de blenda, 15 por 100 de galena y 15 por 100 de pirita, la densidad media del relleno resulta ser, aproximadamente, 4,67.

Ahora bien: para que trozos de gneiss de 2,74 de densidad pudieran flotar en el seno de la disolución o emulsión que precipitó los sulfuros fué preciso que ésta contuviera el 50 por 100, al menos, del conjunto de blenda, galena, pirita. Otro tipo de disolución muy similar al de "Cuatro Amigos", pero también inconcebible para nosotros.

Es evidente que puede haber otros factores, además de la densidad de las disoluciones que precipitan las menas metálicas, que pueden influir en la "flotación" de las inclusiones. Uno de ellos, acaso el principal, la rapidez en el "fraguado" de la disolución; otro, su estado físico gelatinoso, que pudo entorpecer y retardar su sedimentación, y, por último, la tensión gaseosa de la disolución magmática y la corriente ascendente que produjo la inyección propiamente dicha, de cuya fuerza pueden darnos idea los trozos de pizarras paleozoicas, elevadas, por lo menos, de 400 ó 500 metros de profundidad, que arrastró consigo la masa de cuarzo del filón de calcopirita de Reinosa.

* * *

Estos fenómenos curiosos, sobre los cuales me ha parecido interesante llamar vuestra atención, me han inducido

más de una vez a pensar que se padeció un grave error al querer explicar la formación de los filones metalíferos por procesos que nos eran familiares y cuyo desarrollo observábamos en la parte de la corteza terrestre asequible a nuestro estudio.

Hoy es ya difícil admitir que las aguas meteóricas que circulan a distintas profundidades, o las de las fuentes termales, vengan de donde vinieren, lleguen a engendrar procesos de metalización comparables a los que han dado origen a la mayoría de los criaderos de valor industrial que el minero explota. Unas y otras aguas tienen, sin duda, cierta actividad mineralizadora; pero es indiscutible que en nada se parecen a las disoluciones magmáticas que, según hemos podido comprender, efectúan la deposición de las menas metálicas en las grietas de las rocas. Al recurrir para su explicación a las aguas termales no se puede negar que nos acercamos algo más a la realidad de los hechos, que, como dicen los chicos cuando juegan a esconder prendas, andamos "más calientes, más calientes"; pero a pesar de ello debemos apartar de nuestra imaginación ese supuesto si no queremos que antiguos prejuicios continúen impidiéndonos formar un claro concepto de la génesis de esta clase de criaderos.

* * *

Y aquí vamos a hacer alto hoy. No sé qué juicio os habrá merecido la exposición de hechos y la interpretación de los mismos que he sometido a vuestra consideración en esta ya larga conferencia, ni pretendo, porque la aspiración sería ridícula, que suméis vuestra opinión a la mía. Nadie ha dicho en estas cuestiones tan complejas la última palabra, y seguramente transcurrirán todavía muchos años antes de que los procesos de génesis filoniana se pongan totalmente

en claro. Pero no hay que desanimarse por ello, y al decir esto me dirijo principalmente a los jóvenes que me escuchan, porque la misma dificultad del tema es el mayor aliciente para proseguir la investigación.

No hay que perder de vista que el investigador científico, al estudiar un problema, describe alrededor de la verdad que busca círculos que se van estrechando más y más a medida que nuevos hechos y experiencias le permiten limitar el campo de las posibilidades; pero como la espiral es infinita, hay un largo camino que recorrer para llegar a ella. Por eso se nos antoja a veces que la verdad es esquiva, huraña; que rehuye nuestra compañía, e incluso que retrocede cuando avanzamos en su busca; y es que siempre nos hacemos la ilusión de estar más cerca de la verdad de lo que en realidad estamos: que calculamos mal las distancias, en una palabra; lo cual no tiene nada de extraño, porque son tan intensos y tan vivos sus destellos que llegan a cegarnos, y nos ocurre con ellos lo que al divisar un faro en la oscuridad de la noche: que creemos tener a dos pasos el foco de luz que brilla tal vez a centenares de metros de nosotros.

Pero yo creo que uno de los mayores encantos de la ciencia es precisamente ése: que por mucho que se estudie, por mucho que se investigue, por mucho que se progrese, nunca se llega al término de la jornada. Y afortunadamente. Porque la pobre ciencia humana, con todas sus conquistas maravillosas, no puede satisfacer las ansias infinitas del corazón del hombre, que, para no sentirse desfallecer, necesita contemplar en el horizonte, como tierra de promisión, islas inexploradas y remotas donde situar con la imaginación la meta de sus aspiraciones científicas, y caminar en su busca por senderos iluminados, más que por los rayos del sol y de la ciencia, por los rayos invisibles de la esperanza; de la esperanza de arribar a esa meta algún día. Esperanza alenta-

dora que alimenta el deseo innato en el hombre de conocer lo desconocido y que pone un toque de poesía en nuestro monótono vivir. Y esta esperanza y esta poesía no habrán de faltarnos mientras quede un fenómeno por descifrar o un misterio por descubrir. Ya lo dijo con su espíritu de visionario un poeta de mi tierra:

Mientras la ciencia a descubrir no alcance
las fuentes de la vida,
y en el mar o en el cielo haya un abismo
que al cálculo resista;
mientras la Humanidad, siempre avanzando,
no sepa a do camina;
mientras haya un misterio para el hombre,
habrá poesía.

No os extrañe que a última hora me haya sentido poeta, porque, como dice el refrán, "De músicos, poetas y locos, todos tenemos un poco"; pero mi poesía es inofensiva y se reduce en estos momentos a alimentar la esperanza de que la próxima conferencia, una vez desbrozado el camino, os resulte más entretenida que la de hoy.

HE DICHO

**CRIADEROS MINERALES
DE TIPO FILONIANO**

SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

CONFERENCIA DADA EL DIA 13 DE MARZO DE 1945
EN EL INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES

POR

JUAN GAVALA Y LABORDE

INGENIERO DE MINAS

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO

SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

CONFERENCIA DADA EL DIA 13 DE MARZO DE 1945
EN EL INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES

POR

JUAN GAVALA Y LABORDE

INGENIERO DE MINAS

En la conferencia anterior hice alusión varias veces a las pegmatitas y a los cuarzos pegmatíticos, productos ambos de la diferenciación de magmas ácidos, y vimos cómo los diques de pegmatita, y sobre todo los de cuarzos pegmatíticos, constituían a veces verdaderos criaderos de valor industrial, con menas de tungsteno, estaño y molibdeno, criaderos de cuyo origen ígneo o magmático no era posible dudar. Hice notar también que como un paso más en el proceso de diferenciación se formaban filones o diques de cuarzo aurífero. Ahora bien: como los metales tungsteno, estaño, molibdeno y oro se presentan en esos diques acompañados de cuarzo, feldspatos, mica, turmalina y fluorina, minerales que son propios de los magmas pétreos ácidos, es evidente que tanto las pegmatitas como los cuarzos pegmatíticos constituyen a modo de

fases intermedias o de transición entre los magmas pétreos propiamente dichos y los magmas metalíferos, entre la escoria del horno y el baño metálico del crisol.

Os presenté después una serie de ejemplos demostrativos de que una vez segregadas esas fases intermedias, mitad pétreas, mitad metálicas, quedaban todavía en estado fluido, bien en el lacolito principal, bien en los secundarios formados a sus expensas, residuos magmáticos que por segregaciones o diferenciaciones sucesivas daban origen a metalizaciones de pirita, de calcopirita y de pirita arsenical generalmente aurífera, y, por último, a depósitos de sulfuro de cinc, de blenda, que alguna vez, como en el caso del lentejón de Mandy, en Canadá, se anticipaban o se superponían a la fase del cobre. Ejemplo clásico de esta serie de deposiciones metalíferas lo constituían, según vimos, los excepcionales criaderos de piritas ferrocobrizas de Huelva.

Ese orden en que se van segregando las diversas menas metálicas, esbozado en los ejemplos que cité en mi anterior conferencia, se repite en todas las regiones de la Tierra, lo que da a entender que la diferenciación de los magmas residuales metalíferos es función de los factores presión y temperatura, únicos que concebimos que puedan variar en el transcurso del tiempo, a partir del momento en que un magma que asciende de las profundidades plutónicas queda encerrado y aislado en el seno de rocas ya consolidadas de la corteza.

Esas diferentes emisiones de residuos magmáticos, cada una de las cuales se caracteriza por contener un grupo determinado de combinaciones metálicas y de compuestos no metálicos, son como los enjambres que salen de una colmena cuando las energías vitales rompen el equilibrio existente entre reinas, obreras y zánganos; pero no han podido poner en claro aún los estudios metalogénicos, ni por los trabajos de las minas ha podido comprobarse, si esas fases residuales parten

todas al mismo tiempo del baño fundido (cosa que parece poco probable) o si emprenden su viaje emigratorio por grupos y escalonadamente. Lo que sí está fuera de dudas es que cada una de esas fases termina su viaje en una zona de la corteza en donde reinan condiciones determinadas de presión y temperatura. De ahí que unas agrupaciones de menas y gangas se encuentren en un filón o en un campo filoniano a una profundidad determinada, y agrupaciones distintas a profundidades mayores aún o, por el contrario, menores que las primeras.

También parece indudable que el que esas fases cristalicen y se consoliden en un orden determinado obedece a que la fase correspondiente a un escalón o estadio de la serie ha de depositarse precisamente en una zona en donde reine temperatura o presión inferior a la de la zona en que cristalizó la fase precedente, o lo que es lo mismo, que al llegar un magma metalífero a la zona de la corteza donde cristaliza y se consolida una fase determinada, las restantes que pudieran acompañarle conservan todavía temperatura o presión superiores a su punto de cristalización, vitalidad y energía propias para continuar su marcha ascendente, y por eso siguen su camino hasta que al llegar a zonas más frías o de menor presión, en las que pierdan la facultad de mantenerse en estado fluido, disminuyen su ritmo de avance, se remansan y cristalizan al fin.

Yo no concibo, sin embargo, que de un gran lacolito pueda segregarse un magma metalífero único que contenga todas las menas y gangas que hubieran podido formarse con los elementos constitutivos del magma primario; creo, por el contrario, que si ese lacolito se fracciona, si parten de él fases pétreas de composición química determinada para formar lacolitos secundarios, con esos materiales pétreos han de emigrar determinados elementos metálicos de los contenidos en

el magma original, y que si de estos lacolitos parten nuevas fases pétreas fundidas para formar lacolitos de tercero y cuarto orden, con ellas han de emigrar a su vez parte de los elementos metálicos que habían pasado a los lacolitos secundarios. Por tanto, cuando llegue el momento en que las fases pétreas de todos esos lacolitos cristalicen y se consoliden, han de quedar en ellos, como residuos, magmas metalíferos de composición distinta, que contendrán grupos limitados de menas y de gangas, y estos grupos serán los que se inyectarán en las fisuras de las rocas para formar filones e irán depositando los diversos compuestos metálicos y térreos en un orden determinado y en consonancia con la temperatura de las rocas de la caja. Esta es la idea que trato de materializar en el esquema que proyecto en la pantalla (fig. 1). Pero se trata de una opinión mía a la que no pretendo que concedáis ningún valor, si bien no me parece descabellada, porque explica ciertos hechos que se observan en la Naturaleza, sobre todo esa relación que indudablemente existe, como luego veremos, entre la naturaleza de las menas y la textura con que cristalizaron los magmas pétreos de donde esas menas procedían.

De la constancia en el orden de deposición de las distintas fases se deduce una consecuencia del más alto interés: que las sustancias metálicas que encontramos en los filones aun en las comarcas del Globo más alejadas entre sí, proceden todas de fuentes similares, porque si procediesen de fuentes distintas—unas, por ejemplo, de disoluciones magmáticas; otras, de secreciones laterales de las rocas de la caja; otras, de la precipitación de elementos acarreados por las aguas meteóricas o termales—no tendrían por qué presentarse las menas metálicas en sucesión regular, ni por qué seguir las fases de deposición un orden constante.

Claro es que una prueba directa y palpable de que las cosas ocurren del modo que estamos diciendo no podremos

CRÍADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

ESQUEMA DE SEGREGACION DE MAGMAS PETREOS Y METALIFEROS

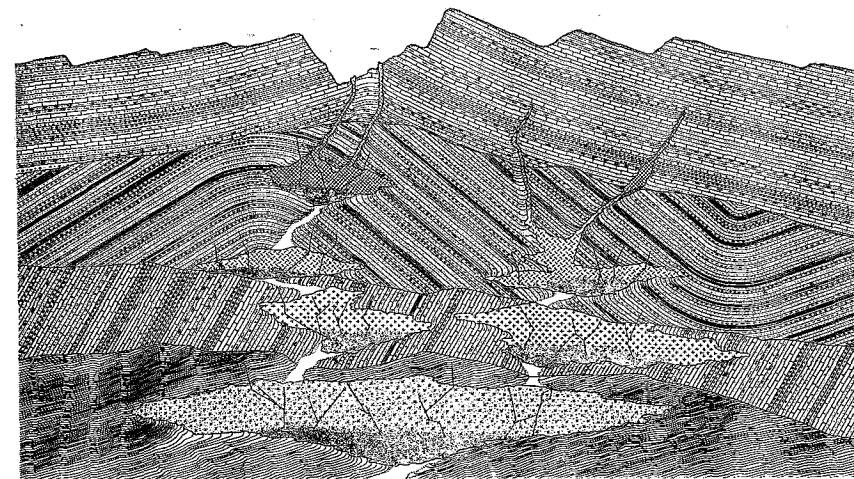


Fig. 1.—Esquema representativo de la diferenciación de magmas pétreos y metalíferos.

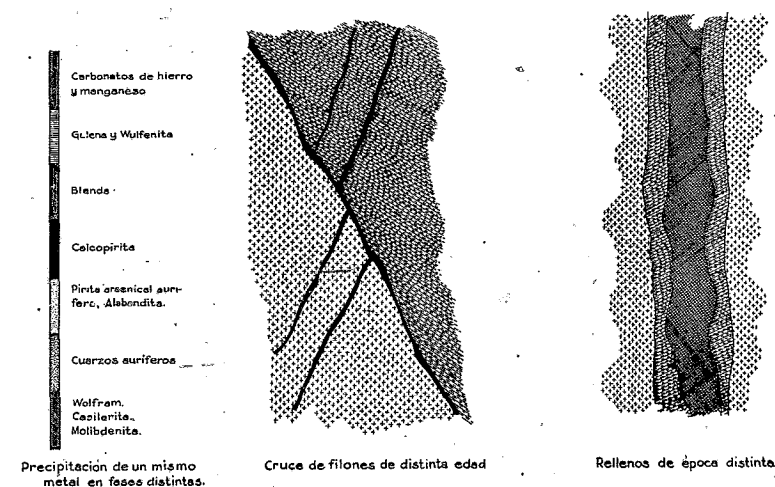


Fig. 2.—Edad distinta de filones cruzados y de rellenos de un mismo filón. Diversas posiciones de un elemento metálico según el elemento mineralizador.

tenerla nunca, pues para ello sería preciso que las labores mineras alcanzasen profundidades tales que permitieran reconocer un campo filoniano en la altura que abarcan todas las zonas de deposición, lo cual está muy por encima de las posibilidades del minero. Generalmente, los trabajos de las minas se desarrollan en la altura o distancia vertical correspondiente a una sola fase o, a lo sumo, en la correspondiente a dos, porque esas distancias se miden por centenares y a veces por miles de metros. En California y en los Apalaches los filones de cuarzo aurífero se han explotado hasta 1.500 metros de profundidad sin que se haya producido cambio alguno en la metalización, y es lo más probable que esta fase del cuarzo aurífero siga aún otro tanto en vertical, de manera que no habrá nunca medio de saber si la fase anterior, la de las pegmatitas con casiterita, wolfram o molibdenita, se hallará o no allí en una zona aun más profunda.

Pero si esa prueba concluyente y definitiva no está a nuestro alcance, disponemos, en cambio, de otras pruebas no menos demostrativas. Son muchos los distritos mineros en donde a una profundidad determinada se han formado filones metalíferos de sustancias distintas, que por el modo de interferir o cortarse ponen de manifiesto su edad relativa (fig. 2). También son frecuentes los casos en que en la misma grieta se han inyectado materiales distintos en épocas distintas, y en donde es fácil determinar qué minerales se depositaron primero y cuáles después. En estos distritos se comprueba siempre un orden de sucesión constante de los minerales más antiguos a los más modernos, y como lo lógico es que al depositarse los más modernos las rocas de la caja estuviesen ya a menor temperatura, cosa que, además, se puede comprobar por diversos indicios, resulta, en definitiva, que para los efectos de la sucesión de las fases de cristalización o deposición, la edad relativa de los filones cruzados o de los distintos re-

lentos de un mismo filón tiene el mismo significado que la posición relativa de las fases según la vertical.

Los distintos peldaños de la escala de deposición corresponden, más que a determinados metales o elementos simples, a determinados compuestos o combinaciones de los mismos. Así, por ejemplo, el hierro se deposita en los primeros estadios en forma de óxido; en muchos de ellos, en forma de sulfuro (pirita), como tuvimos ocasión de ver en los ejemplos citados en la conferencia anterior, y en cambio en forma de carbonato (siderosa), en los últimos. El molibdeno, en forma de sulfuro (molibdenita), se deposita en las pegmatitas, y en forma de ácido molibdico, combinado con el plomo y formando el mineral llamado wulfenita (molibdato de plomo), en la fase de la galena, que es posterior a la de la blenda. Y el manganeso, que en forma de sulfuro (alabandita) se encuentra en los escalones bajos de la serie, en forma de silicato y de carbonato, se deposita en los más altos. En la provincia de Huelva, las disoluciones magmáticas que depositaron parte de la pirita, la calcopirita, y, por supuesto, la blenda y la galena, precipitaron a niveles más altos silicatos y carbonatos de manganeso, acompañados de sílice amorfa que originó concreciones de jaspes, que son las que delatan la existencia en el subsuelo de las impregnaciones manganésíferas. Este es un caso de menas distintas, depositadas simultánea o casi simultáneamente a profundidades distintas; pero, como digo, los casos más corrientemente a nuestro alcance, y no por ello menos instructivos, son aquellos en que la deposición de menas diferentes tuvo lugar en la misma zona, es decir, a la misma profundidad, en épocas distintas y con temperaturas cada vez menores en la roca de la caja.

* * *

Para no hablar más en abstracto voy a mostraros algunos casos típicos.

En el Distrito Minero de Matehuala, del Estado de San Luis de Potosí, se explotan unos criaderos sumamente interesantes, aparte de su riqueza, por la luz que arrojan en cuanto al orden de deposición de los elementos cobre, arsénico, cinc y plomo. Por las circunstancias que en ellos concurren son tal vez caso único en el Mundo.

En aquella parte de la meseta mejicana, formada por calizas y arcillas pizarreñas, cuya edad abarca parte de los periodos jurásico y cretáceo, las capas sedimentarias están atravesadas por chimeneas de dioritas cuaríferas, probablemente de edad terciaria. En la comarca donde asoman las chimeneas dioríticas, las capas de pizarras y las de caliza infrayacentes forman una amplia bóveda que sobresale del nivel de la meseta y da origen al llamado "Cerro del Fraile". En sentido N.-S., el terreno ofrece la estructura que representa esta figura (fig. 3); pero en sentido E.-O., la bóveda está cortada, como muestra esta otra, por una falla directa, que ha producido un salto o desnivel de 1.500 metros entre sus bordes o labios. De ahí que en la superficie las chimeneas eruptivas asomen entre calizas o entre pizarras, según que nos situemos a Poniente o a Levante de la falla.

Relacionados con las intrusiones dioríticas, y como última fase de las mismas, se presentan los notabilísimos criaderos metalíferos de aquel distrito. Las disoluciones magmáticas residuales de la consolidación de la diorita dieron origen a una serie de filones con sulfuros de cobre, arsénico, cinc y plomo, depositados en etapas sucesivas y acompañados de gangas cuya naturaleza varía también con la fase de deposición. Las primeras disoluciones residuales magmáticas que depositaron las gangas metamorizaron las rocas de la caja, tanto las calizas y las pizarras como la misma diorita, sustituyendo sus mate-

riales por silicatos de cal y alúmina y de cal y hierro. En otra etapa posterior, esas disoluciones residuales depositaron sílice y fluorina, o sílice y calcita, y, por último, en una tercera etapa, carbonato cálcico.

Las explotaciones han demostrado que el orden de sucesión, en el tiempo, de las distintas sustancias, menas y gangas, que formaron los criaderos, es el siguiente (1):

1.º Productos de disoluciones magmáticas precipitados en las grietas y fisuras de las calizas en forma de pyroxenos y granates cálcico-alumínicos (augita y grosularia). La inyección de esas disoluciones no fué acompañada de sulfuros metálicos.

2.º Precipitación de pyroxenos y granates cálcico-ferrosos (pyroxeno común y andradita). En los niveles más altos de los filones se precipitó hornablenda ferrosa en vez de pyroxeno. Al final de la deposición de estos silicatos cálcico-ferrosos se precipitaron ya algunos sulfuros metálicos, principalmente calcopirita.

3.º Precipitación de cuarzo y fluorina acompañada de gran cantidad de minerales sulfurados.

4.º Inyección de barita y de calcita, ligeramente precedida en la parte alta de algunos filones por una abundante precipitación de estroncionita (carbonato de estroncio).

El orden de sucesión de los minerales metálicos fué el siguiente:

1.º Pirita ligeramente cuprífera, que gradualmente se fué enriqueciendo en cobre hasta alcanzar leyes del 15 por 100. El comienzo de esta metalización coincidió con el período terminal de la deposición de los silicatos cálcico-ferrosos y continuó en el período de deposición del cuarzo y la fluorina.

(1) La sucesión de menas y gangas no está delimitada con tanta precisión como se indicó en la columna de la figura. Hay siempre superposiciones de la parte inferior de una fase y la superior de otra, que se han suprimido para mayor claridad.

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

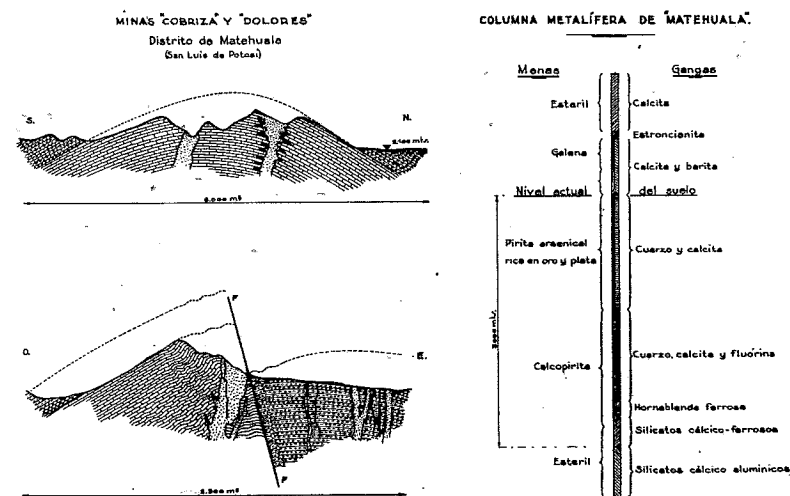


Fig. 3.—Variación de las mineralizaciones con la profundidad.

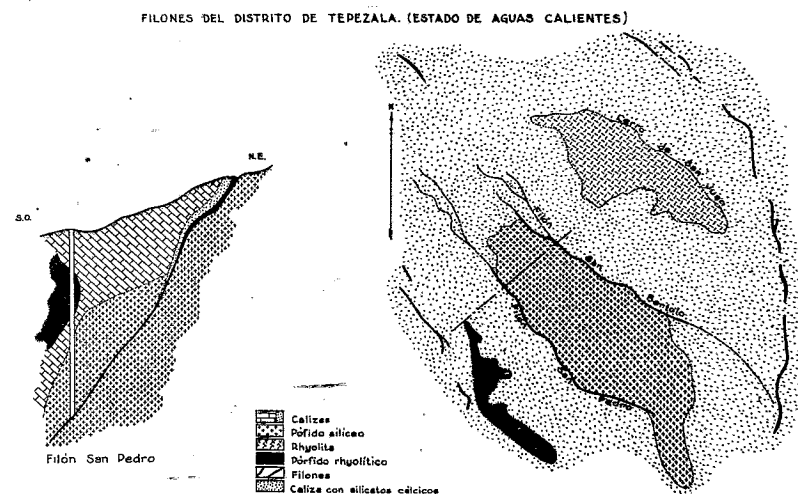


Fig. 4.—Cambio de las mineralizaciones con la distancia al foco de calor.



2.º Pirita arsenical aurífera y argentífera con altas leyes en estos metales, coincidiendo, en tiempo, con la precipitación del cuarzo y la fluorina; y

3.º Blenda y galena en precipitación conjunta.

En estos criaderos ofrecen especial interés los materiales que constituyen las gangas de las diversas etapas de su formación, porque el paso de unas a otras indica siempre un descenso en la temperatura que puede hacerse extensivo a los minerales metálicos que las acompañan. En efecto, durante la deposición de la calcopirita, los pyroxenos cálcico-ferrosos cedieron el puesto a la hornablenda, que según los fisicoquímicos se forma a temperaturas más bajas que el pyroxeno. Del mismo modo, el desdoblamiento de los silicatos cálcicos (wollastonita) ligeramente anterior a la principal deposición metálica, en cuarzo y fluorina, o cuarzo y calcita, contemporánea de ella, indica también una caída de temperatura.

Esto demuestra que los elementos metálicos se depositaron por el orden cobre, arsénico, cinc y plomo durante un periodo de tiempo en que la temperatura descendía y a medida que se iban alcanzando los puntos críticos de las distintas cristalizaciones.

Es realmente interesante que se produjera la gran falla a que antes aludimos, que es posterior, no sólo a la intrusión diorítica, sino también a la formación de los criaderos, por lo cual, en este importante campo filoniano, quedan al alcance del minero dos zonas de deposición metálica correspondientes a profundidades originarias muy distintas. En condiciones normales no habría sido posible reconocer esta formación filoniana en más de 700 u 800 metros de altura; pero, por efecto de la falla, la altura puesta de manifiesto se acerca a los 3.000 metros. En el bloque que quedó enhiesto, en el que la erosión ha dejado al descubierto la zona más profunda, los filones son muy ricos en cobre; y las fases siguientes, de la arseno-

pirita, la blenda y la galena, están muy débilmente representadas. Por el contrario, en el bloque hundido, que representa la zona superior de la deposición normal, la pirita arsenical, aurífera y argentífera, ofrece metalizaciones riquísimas, y el estadio inferior, el de la calcopirita, ni siquiera está representado en la profundidad alcanzada con las labores. Y los más altos, blenda y galena, tampoco adquieren gran desarrollo. Sin duda, si estos minerales llegaron a cristalizar abundantemente en Matehuala, lo hicieron, como les correspondía, en un nivel superior al de las pizarras que forman ahora la cobertura del bloque hundido, y al descender la temperatura, o las disoluciones estaban empobrecidas ya en esos metales o el período crítico de la cristalización fué excesivamente corto y sólo quedó, por así decirlo, el rastro, la huella de su paso.

De todas formas, los criaderos de Matehuala ponen de manifiesto cómo se desarrolló un primer período de importantes deposiciones metalíferas, durante el cual el cobre se depositó abundantemente en una zona profunda, al mismo tiempo que en otra zona más cercana a la superficie se depositaba abundantemente la pirita arsenical rica en oro y plata, y un segundo período de deposición menos importante, durante el cual esas diversas fases se depositaron a niveles más bajos al descender la temperatura. Y en cuanto a las dudas que parecen suscitarse en otras localidades respecto al orden de prelación de la calcopirita y la arsenopirita quedan allí resueltas, pues bien comprobado está que la pirita arsenical se depositó en Matehuala entre la fase del cobre y la fase de la blenda.

Respecto a altura o distancia vertical de la zona en que radican las dos fases principales, la del cobre y la de la arsenopirita, contamos con datos que nos permiten calcular su valor mínimo, a saber: la profundidad máxima alcanzada en la mina de cobre "Dolores" en el borde elevado de la falla;

la profundidad de la mina de pirita "La Paz" en el borde hundido y el salto de la falla; en total unos 3.000 metros; o bien 1.500 por fase. En los filones de cuarzo aurífero vimos también que la altura de la metalización era de 1.500 metros por lo menos.

* * *

En algún que otro caso se han llegado a observar en minas muy profundas cambios en la mineralización, demostrativos del cambio de deposición con la temperatura. Así, en la Sierra de Mapimí, Estado de Durango, y en la mina "Ojuela", un filón que corta las calizas secundarias se ha reconocido en cerca de 1.000 metros de profundidad, y en el piso inferior se han hecho sondeos que han cortado a 200 metros, o sea a unos 1.200 metros de la superficie, una alaskita de grano grueso, cuya parte superior, techo del lacolito, está sensiblemente horizontal. Las menas están oxidadas hasta 500 ó 600 metros de profundidad y se componen de carbonato de plomo (y algo de cinc), óxido de hierro, plata (probablemente en estado de cloruro), con algo de arsénico, oro y cobre. Las gangas térreas que acompañan al mineral son cuarzo, calcita y barita. En conjunto, la zona de deposición corresponde a la de la galena, con sus gangas características. Por debajo de la zona oxidada, las menas sulfuradas son una mezcla de blenda y galena, arsenopirita y pirita ferrócobrizada, y a medida que se descende en la mina aumenta la proporción de calcopirita y disminuye la de pirita arsenical y galena y blenda. En el fondo, la calcopirita es el mineral dominante, con leyes de 8 por 100 de cobre, y, además, la ganga contiene fluorina y silicatos de cal, cuya proporción, como demuestran los sondeos, va aumentando hasta llegar al contacto con la roca hipogénica. Esta misma roca hipogénica aflora a la superfi-

cie a unos cuantos kilómetros de Ojuela, en el distrito de Vivorillas, y los filones que arman en ella son ya netamente cupríferos.

Es igualmente instructivo lo que ocurre en los distritos mineros de "Tepezala" y "Asientos", del Estado de Aguas Calientes. El subsuelo está formado por calizas y pizarras calcáreas del Mesozoico, y estas capas sedimentarias están atravesadas por rocas volcánicas de edad terciaria: rhyolitas, traquitas y andesitas. Se conservan en algunos lugares de la zona restos de estas rocas, que se extendieron sobre la superficie como corrientes de lava; pero desde que estos volcanes se extinguieron, la denudación, que fué muy intensa en aquellos distritos, arrasó los conos o cráteres y un espesor considerable de las pizarras y calizas que servían de asiento a las coladas, de modo que hoy sólo destacan en la superficie, y como colinas achatadas, las chimeneas de los volcanes en cuestión.

En el distrito de Tepezala se presentan tres de estos asomos hipogénicos (fig. 4). El estudio detenido de las rocas eruptivas da a conocer que las chimeneas son de distinta edad. La mayor, que ocupa el centro, es la más antigua, y la roca es un pórfido silíceo; la situada más al Norte, que es la que más destaca en la superficie y forma el llamado Cerro de San Juan, es la más moderna; la roca es rhyolita. Por último, la situada más al Sur, de pórfido rhyolítico, es de edad intermedia y parece ser contemporánea del depósito filoniano o inmediatamente anterior.

La chimenea central, después de haber adquirido textura pizarrea como consecuencia de las fuertes presiones sufridas, quedó como masa o dovela levantada entre dos fallas paralelas que forman ahora sus límites NE. y SO. Los planos de falla buzan en dirección opuesta unos 60°, y el salto originado por el hundimiento de las zonas laterales es de 160

metros. Al pasar de la roca eruptiva a la caliza las fallas se ramifican y desaparecen.

Las grietas de esas fallas facilitaron el paso de las disoluciones magmáticas que depositaron las menas metálicas, y en ellas se formaron los dos filones principales del distrito de Tepezala: el de San Pedro, al SO., y el de San Bartolo, al NE. Ambos filones ofrecen la particularidad de que la ganga contiene silicatos cálcico-ferrosos (pyroxenos y granates de color verde oscuro), que, según vimos, se depositaron en Matehuala al comenzar la deposición de la calcopirita. Lo mismo en Tepezala que en la zona profunda de Matehuala, la pirita ferrocobrizada es la mena principal, y aunque en los dos distritos las primeras metalizaciones de la pirita de cobre fueron contemporáneas de los silicatos cálcico-ferroso, las mineralizaciones principales van acompañadas de cuarzo y fluorina o cuarzo y calcita como gangas, y parece, por tanto, demostrado que la cristalización de la calcopirita tiene lugar siempre en ese momento crítico en que, al descender la temperatura, los silicatos de cal se desdoblan para precipitarse como cuarzo y calcita.

En tanto que en el centro del distrito de Tepezala sólo se depositó la fase principal del cobre, al separarnos de las chimeneas volcánicas encontramos filones que se formaron al mismo tiempo, pues se hallan todos relacionados con la inyección intermedia de rocas hipogénicas, son más modernos que la tercera y están constituidos por sustancias pertenecientes a estadios de más baja temperatura.

A unos dos kilómetros al O. de Tepezala se halla el grupo de filones Victoria-Negra, cuya metalización principal es de galena y blenda, y en los que la pirita de cobre se presenta sólo como mineral secundario. La ganga es casi toda de calcita y cuarzo, con muy pocos silicatos cálcicos.

A la misma distancia, por el rumbo opuesto, por el E., se

halla el filón "Pañuela", de galena argentífera, sin silicatos de cal en la ganga y muy poca calcopirita. Este filón se reabrió, y por la grieta se introdujo una inyección rhyolítica.

Por último, en el distrito de Asientos, algo más distante, y en la mina "Santa Francisca", se explota un filón de cuarzo de 15 ó 16 metros de anchura con minerales muy complejos de plata, blenda y galena.

En resumen: en el distrito de Tepezala-Asientos coexisten filones sencillos contemporáneos, cada uno de los cuales contienen una sola fase de deposición metalífera. En el centro del distrito se encuentra la fase principal del cobre; en las zonas laterales, la fase del plomo, y en la marginal, la de la plata. Estas metalizaciones tan diferentes parecen depender de la temperatura que reinaba en cada una de las tres zonas en la época de la mineralización de las grietas, temperatura que era más alta en el centro del distrito, por hallarse más cerca del foco de calor y a mayor profundidad entonces los terrenos que allí afloran hoy, y más baja en las zonas marginales, más superficiales.

* * *

Se deduce de cuanto hemos dicho que los compuestos de los distintos metales se depositan en los filones siguiendo en sentido vertical un orden fijo y constante, y constituyendo, por tanto, una serie de zonas que, procediendo de abajo a arriba, son como sigue (fig. 5):

A) Zona de las pegmatitas y cuarzos pegmatíticos, con estaño, tungsteno, molibdeno, etc.

B) Zona del oro en estado libre o metálico, acompañado de piritita, calcopirita y arsenopirita, y con cuarzo como ganga.

C) Zona de las piritas cupríferas, con gangas que pasan de silicatos cálcicos y cálcico-ferrosos a cuarzo y fluorina o cuarzo y calcita. (Zona principal del cobre.)

D) Zona de la piritita y arsenopirita argentíferas y auríferas.

E) Zona de la blenda (Zona principal del cinc.)

F) Zona de la galena, generalmente argentífera, con cuarzo, calcita y barita como gangas más corrientes. (Zona principal del plomo.)

G) Zona de los minerales complejos de cobre, especialmente tetraedrita y tenantita (sulfoantimoniuro y sulfoarseniuro de cobre, respectivamente), o sea la de los llamados cobres grises, muy ricos en plata. (Zona principal de la plata.)

Las zonas más bajas, como la A y la B, se desarrollan generalmente en regiones profundas de la corteza, que estaban cubiertas en la época de la mineralización por grandes espesores de terreno, y en las cuales reinaban altas temperaturas y grandes presiones. Si las rocas en que arman estos criaderos son hipogénicas, su textura es holocristalina, con cristales bien desarrollados: granitos, dioritas, gabros, etcétera; rocas, en fin, que se consolidan lejos de la superficie; y aquí la relación que os dije al principio que solía existir entre la naturaleza de las menas metálicas y la textura con que cristalizaban los magmas pétreos de donde se segregaban. Si arman en estratos sedimentarios, corresponden éstos al Estrato-cristalino y a los terrenos paleozoicos, que sólo afloran en nuestros días donde la denudación ha sido enorme.

Las zonas C y D, zonas principales del cobre y de la arsenopirita aurífera y argentífera, se relacionan siempre con rocas hipogénicas de las llamadas vulgarmente intrusivas, es decir, rocas holocristalinas de grano fino, o porfíricas, que en forma de bolsadas, diques o masas irregulares penetraron en regiones más altas de la corteza y se consolidaron, por tanto, donde no reinaban ni temperaturas ni presiones demasiado elevadas.

En estas zonas C y D, típicas de los criaderos de cobre

y de las piritas arsenicales auríferas, se encuentran a veces representadas la zona superior *E* de la blenda, y en menor proporción la *F* de la galena. Esto es debido a que las zonas superiores *E* y *F* se han podido superponer a las *C* y *D* al descender la temperatura de las rocas de la caja por la consolidación y pérdida de calor de las masas ígneas intrusivas. Si este descenso de temperatura se produce en el momento de la mineralización, las zonas del cinc y del plomo descienden en la vertical y se superponen a la de la piritas arsenical e incluso a la del cobre, como ocurrió en Matehuala.

En virtud de este descenso, más o menos acentuado, las menas de cinc, y a veces la galena, se asocian a los silicatos de cal que se forman cerca de los contactos de las intrusiones ígneas, y por ello se ha supuesto a veces que estos criaderos se habían originado por metamorfismo de contacto, a nuestro juicio erróneamente, porque ni la galena ni la blenda se han depositado en ellos en virtud de una acción metamórfica, sino a consecuencia de una deposición magmática normal.

Las rocas hipogénicas relacionadas con las zonas del cinc y del plomo suelen ser de grano más fino aún que las relacionadas con la zona del cobre, y por la misma razón que se superponen estas zonas a la del cobre, es frecuente que la zona *G*, de la plata, se superponga a las *E* y *F*, de la blenda y la galena.

Es rasgo característico de las zonas del cinc y del plomo el haberse formado muy por encima de las masas hipogénicas de donde proceden, y así es frecuente encontrar yacimientos de estos metales en comarcas donde no asoman rocas ígneas, o donde sólo asoman pequeños diques que son como tentáculos exploradores de lacolitos situados a mayor profundidad.

Es, pues, un error manifiesto suponer, por ejemplo, que los criaderos de plomo de Linares tengan relación genética con el granito en que arman, lo cual ya se podía sospechar

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

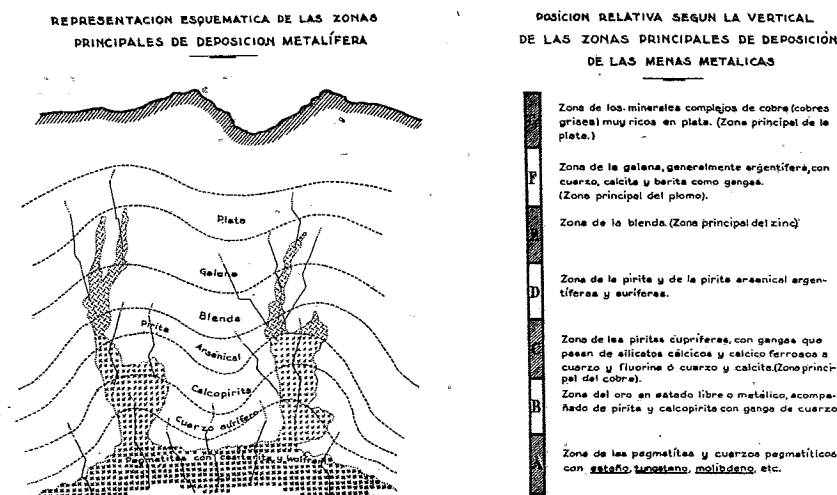


Fig. 5.—Zonas principales de deposición de las menas metálicas según la vertical.

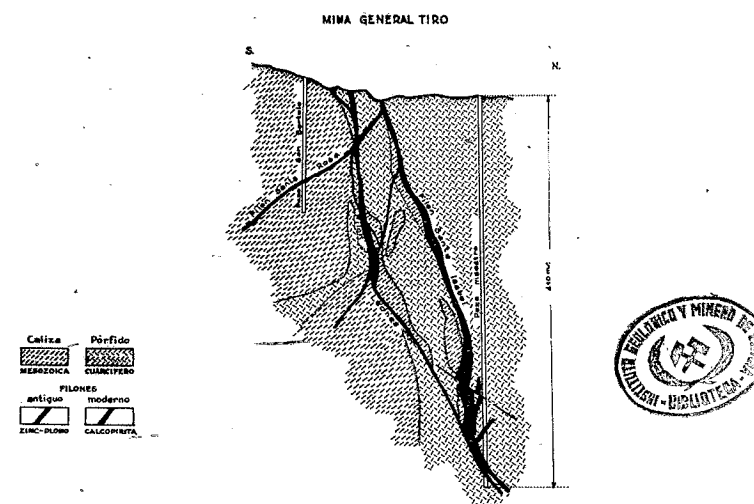


Fig. 6.—Inversión de las zonas de deposición.

al ver que esos filones lo mismo cortan al granito que a las pizarras y a las cuarcitas silurianas, que es el caso de La Carolina; así es que tanto los de un distrito como los del otro, indudablemente contemporáneos, son de edad muy posterior a la de la inyección granítica, y están relacionados, probablemente, con inyecciones de pórfidos de grano fino, de los que han cortado varios diques los sondeos hechos por la Empresa Nacional Adaro para investigar la prolongación del campo filoniano de Linares por debajo de los terrenos secundarios.

Como ejemplos de criaderos de plomo que arman en rocas sedimentarias lejos de todo afloramiento de rocas hipogénicas se pueden citar los de Reocín y los de las Alpujarras, así como los de Vélez de Benaudalla, en Sierra de Lújar, y los de Sierra de Gádor. Unos se han formado en calizas del Cretáceo y otros en calizas triásicas, pero lejos siempre de masas hipogénicas.

De un modo general puede decirse que en cada zona de mineralización pueden estar representadas, a más de la fase principal, las que le siguen en orden ascendente, y en cambio rarísima vez las inferiores, lo cual da a entender que la mayor parte de los filones metalíferos se han formado en régimen de temperatura decreciente, que es lo normal.

Pero como no hay regla sin excepción, también se presentan, aunque rara vez, casos en que el orden de deposición se invierte, debido a que durante el período de metalización la temperatura de las rocas de caja fué en aumento. Esto ha ocurrido cuando masas hipogénicas profundas se han ido acercando durante ese período a la superficie a consecuencia de movimientos orogénicos.

Un curioso ejemplo de metalización invertida ofrece la mina "General Tiro", en el distrito de los Charcos, del Estado de San Luis de Potosí (fig. 6). En este distrito, las piza-

rras y calizas mesozoicas están atravesadas por intrusiones de pórfidos graníticos. El filón "General Tiro" ocupa la grieta de una falla que sigue el contacto del pórfido con las calizas, pero que cruza también a veces tanto el pórfido como las capas sedimentarias. La falla, que se debió probablemente a la contracción o hundimiento de la masa porfídica, fenómeno muy corriente en las intrusiones ígneas, produjo un salto vertical de 50 metros; la grieta fue ocupada por un filón de blenda con algo de galena, representante de la zona E. A continuación, el progresivo hundimiento del pórfido produjo una nueva falla con 80 metros de salto. Esta falla siguió en parte el trazado de la primera, y en parte corrió paralela a ella a través del pórfido. La nueva grieta se rellenó con cuarzo, calcopirita y pirita ferrocobrizada; por tanto, donde las dos fallas coincidieron, el relleno del filón es una mezcla de minerales de cinc y cobre, y donde las grietas estaban separadas, los filones contienen menas distintas. El orden de cristalización de estas dos metalizaciones es inverso del normal e indica una deposición de menas efectuada en un período de temperatura creciente motivada por el gradual ascenso de intrusiones ígneas contemporáneas de la mineralización, intrusiones de las que hay abundantes manifestaciones en aquel distrito.

Por datos obtenidos en los distritos mineros de la cordillera occidental de Norteamérica, donde se encuentran los criaderos tal vez más importantes del Mundo, se sabe que cada escalón o estadio de la escala de deposición abarca una altura vertical considerable, y que los más elevados terminan de formarse a bastante distancia de la superficie. Cada tramo mide, por término medio, de 1.000 a 1.500 metros; así es que si sumamos el de las pegmatitas con estaño, tungsteno, etcétera, el de los cuarzos auríferos, el de las piritas y arsenopiritas auríferas, la zona principal del cobre, y las de la

blenda y la galena, dejando a un lado tramos intermedios más o menos subordinados a los principales, incluso el superior, de minerales típicamente argentíferos, llegamos a una altura total de 5.000 a 6.000 metros. Y si admitimos que la serie termina a 1.000 metros de la superficie, como parecen demostrarlo estudios hechos para calcular el espesor de rocas desaparecido por denudación por encima de los tramos superiores desde la época de su depósito hasta nuestros días, no es exagerado suponer que la columna metalífera comenzó a formarse a los 8.000 metros de profundidad y terminó a los 1.000. Según esto, el que hoy se encuentren filones de estaño y tungsteno a nivel del suelo da a entender que en las comarcas donde esto ocurre la denudación ha hecho desaparecer espesores de rocas de cinco a seis mil metros, o bien que por movimientos orogénicos fueron subiendo de nivel en el transcurso de las épocas geológicas esas partes profundas de la corteza, a la vez que su cobertura iba desapareciendo por denudación.

* * *

Mas no siempre se han desarrollado los fenómenos metalogénicos con idéntico ritmo.

El que acabamos de exponer es característico de las formaciones filonianas dependientes de rocas hipogénicas consolidadas a bastante profundidad y que de momento crearon a su alrededor una zona de mayor temperatura, en la que las superficies isotérmicas se hallaban bastante espaciadas y cuyo descenso o desplazamiento fué lento a través del tiempo.

En contraposición con estos sistemas filonianos están aquellos que deben su origen a disoluciones metalíferas diferenciadas de magmas pétreos que consiguieron abrirse paso hasta la superficie y extenderse sobre ella en forma de coladas volcánicas. En estos casos, como el foco de calor estaba

a poca profundidad, el espaciamiento de las superficies isotérmicas en la zona caldeada fué ínfimo. Los magmas metalíferos, segregados de los magmas pétreos, recorrieron en poco trecho zonas de temperaturas muy distintas, y, como consecuencia, los diversos estadios o fases de deposición se pisaron unos a otros o se superpusieron, y la sucesión de las zonas A a F no se aprecia con tanta claridad.

Ese es el caso de muchos de nuestros criaderos del distrito de Cartagena, relacionados con erupciones terciarias de rhyolitas, traquitas y liparitas; de los de Cabo de Gata, dependientes de erupciones, también modernas, de andesitas, labradoritas y dacitas, así como de los de Goldfield, del distrito de Tonopah, en el Estado de Nevada. En todos estos distritos los filones son de composición muy compleja: casi siempre vienen mezclados los minerales de plata en forma de sulfuros, sulfoantimoniuros y sulfoarseniuros ricos en este metal (argentita, stephanita y pyrargirita), con sulfoarseniuros y telururos de oro, calcopirita, blenda y galena; es decir, que en ellos aparecen superpuestas y coincidentes zonas tan distintas como las C, D, E, F y G. Pero aún puede ser mayor la confusión: en Tonopah, por ejemplo, se encuentran menas de tungsteno (hübnerita y scheelita) asociadas a otras ricas en plata, y en Cartagena se encuentran en las zonas características de la blenda y de la galena minerales de estaño, pertenecientes a la zona A.

Entre estos dos casos extremos se encuentran los filones dependientes de magmas pétreos que no cristalizaron lentamente a gran profundidad ni se abrieron paso hasta la superficie, sino que se detuvieron a profundidades medias, y cristalizaron allí con textura intermedia entre la de las rocas plutónicas y la de las lavas. Los magmas metalíferos asociados a estas intrusiones recorrieron zonas donde las temperaturas eran fluctuantes, y en los filones que formaron, las zonas verticales

de deposición se mezclaron y se superpusieron de las maneras más variadas. Los filones compuestos, originados por el agrietamiento de un filón ya formado y el relleno de la nueva grieta con menas de otro tipo, son característicos de estas profundidades medias.

En estas condiciones es natural que se originen menas complejas que contengan los distintos metales tan íntimamente asociados que su interpretación genética sea difícil, y en las que la separación de los distintos compuestos plantee a veces al Ingeniero, en los lavaderos y talleres de preparación mecánica, problemas de difícil solución.

* * *

Hasta ahora me he referido exclusivamente al modo de formarse los criaderos filonianos y al origen, naturaleza y estado físico de los flúidos productores por excelencia de esta clase de criaderos. Ahora bien: en la formación de criaderos no filonianos intervienen otros factores muy distintos que también es interesante conocer, aun cuando no sea más que para darse cuenta de cuán diferente es la génesis de unos y otros, y a esos factores voy a pasar revista ahora, aunque muy rápidamente, para no salirme demasiado del tema concreto de estas conferencias.

Comencemos por los océanos. Afluyen a éstos no sólo las aguas que descienden por los cauces arrastrando con la fuerza de la corriente los materiales disgregados de la capa superficial, sino las procedentes de manantiales alimentados por hilillos de agua que en su recorrido por poros, fisuras y grietas, de las rocas disuelven cantidades importantes de sales. Según cálculos aproximados, los mares reciben anualmente 2.735 millones de toneladas de sustancias disueltas, o sea alrededor de 1/3 de las que reciben en estado de suspensión: arenas, limos y materias vegetales. En nuestros días

contienen los océanos 48.400 millones de toneladas de sustancias disueltas, y si comparamos esta cifra con la de 2.735 millones de la aportación anual se llega a la conclusión de que en las condiciones que hoy rigen habrían hecho falta 17.700.000 años para comunicar a los océanos su grado actual de salinidad. Claro es que este cálculo no conduce a ninguna consecuencia utilizable, porque los océanos seguramente no fueron dulces en sus comienzos. El agua dulce no es el estado natural del agua, sino un estado temporal y pasajero debido a la acción de la atmósfera, que hace pasar el agua del mar al aire desprovista de las sales que contenía en disolución. Las aguas que se reunieron en los primeros océanos debieron ser semejantes a las que se forman al condensarse los vapores que se desprenden de los volcanes, que contienen en disolución gran cantidad de sales. Los océanos proceden de la condensación de la primitiva atmósfera, donde es natural que existieran en forma de vapor gran parte de las sustancias ahora disueltas en sus aguas. Teniendo esto en cuenta, no es lo raro que el agua del mar contenga tantas sales, sino que no esté saturada, y, sin embargo, no lo está de ninguna de las sustancias que contiene en disolución, aunque en ciertas partes del Globo, y siempre en extensiones limitadas, lo esté de cal, y por eso se precipita carbonato cálcico en las oquedades de los arrecifes de corales y entre las conchas y las arenas de algunas playas. Pero, en conjunto, el agua del mar sólo contiene el 60 por 100 de la cal que admite en disolución.

La concentración en cal y en otras sustancias sería, sin duda, mucho mayor si no se estuvieran precipitando constantemente y en gran escala esas mismas sustancias.

Los seres orgánicos son los principales agentes de esa precipitación. Muchos animales y plantas marinas tienen la facultad de absorber y fijar la cal de las aguas, y los efectos

de este trabajo son enormes. Así se han formado muchas veces las calizas, que cubren extensiones grandísimas y constituyen uno de los tipos de rocas más comunes en las masas continentales. Aun cuando estos depósitos no pueden llamarse menas, lo cierto es que tienen indiscutible valor para el hombre, que los emplea como materiales de construcción, para la fabricación de la cal y del cemento, como fertilizantes y como elementos decorativos en Arquitectura y en Bellas Artes. Aquí tenemos, pues, el tipo más extendido y más familiar de depósitos minerales de valor industrial, y una clara, sencilla y evidente explicación de su origen.

Otros organismos que habitan el mar tienen la propiedad de fijar la sílice; entre ellos figuran las diatomeas, los radiolarios y las esponjas síliceas, que por su acumulación en estado fósil han dado origen a las sustancias conocidas con los nombres de tripoli, kieselguhr y harina fósil, que la industria emplea en la fabricación de explosivos, de materiales aislantes, de filtros y de pinturas.

El hierro también se precipita en el mar por la actividad orgánica, principalmente en forma de glauconia, silicato ferroso-férrico, potásico. Esta formación crece sin cesar donde reinan condiciones adecuadas, que parecen encontrarse en las zonas tranquilas del mar que bordean la faja costera, donde se depositan los limos procedentes de tierra. A base de estas capas de glauconia se han formado algunos yacimientos importantes de hierro, y a la glauconia, como tal mineral, se la considera hoy como una de las reservas mundiales de potasa. Los yacimientos de mineral de hierro de Minnesota (Lago superior), los mayores del Mundo, se han derivado, según algunos geólogos, de capas de silicatos de hierro análogos a la glauconia. El silicato de hierro se ha desdoblado en lechos alternantes de óxido de hierro y pedernal, originando una textura especial en fajas paralelas.

El manganeso, metal de características físicoquímicas análogas a las del hierro, se explota también en yacimientos de indiscutible origen sedimentario, interestratificados en capas de areniscas, dolomías y pizarras, rocas que se forman en los mares actuales en el borde de la faja ocupada por los sedimentos terrígenos. Los dragados del Challenger pusieron de manifiesto que tanto el manganeso como el hierro se están depositando en nuestros días en estas condiciones.

El fosfato de cal, uno de los fertilizantes más empleados en agricultura, debe en muchos casos su precipitación a la materia orgánica y a la acción de organismos vivientes que fijan el fósforo en los huesos, las conchas y otras partes de su cuerpo. Origen francamente sedimentario reconocen las grandes acumulaciones de fosfatos que se explotan en los terrenos cretáceos y eocenos de Argelia y de Marruecos.

Si de los océanos pasamos a los lagos y lagunas, comprobamos que tanto hoy como en épocas geológicas pasadas las aguas concentradas por evaporación en climas áridos han precipitado sustancias minerales con ayuda a veces de la acción bacteriana. Hierro y manganeso se depositan así en cuencas interiores de pequeña superficie, y cuando la evaporación es total o casi total se precipitan sales solubles que no cristalizan en los mares abiertos. Los depósitos principales de esta clase están constituidos por el cloruro sódico, cuyas masas forman parte integrante de las rocas del terreno triásico y de los terrenos terciarios. De igual modo se precipitan sales de magnesio, de cal y de potasa, siendo éste el origen de los importantes yacimientos de sales potásicas de España y de Alemania. Las diferentes sales se han depositado una tras otra por el orden de su solubilidad relativa, y por ello se pueden explotar separadamente.

Por reacciones mutuas entre diversas sustancias contenidas en terrenos sedimentarios se han formado, antes de su

consolidación definitiva, depósitos de valor industrial de algunos minerales. Así, por ejemplo, por la reacción entre el sulfato de cal, los silico-aluminatos de potasa y sosa, es decir, las arcillas de base alcalina, y la materia orgánica, se han producido vetas e impregnaciones de azufre y concreciones de sulfato aluminico-potásico o alunitas, como ocurre en las capas triásicas lacustres de Benahadux (Almería) (fig. 7).

Veis, por consiguiente, que tanto las aguas del mar como las de los lagos y lagunas, y aun las que quedaron impregnando las rocas sedimentarias cuando éstas se depositaron, han contribuido a la formación de depósitos minerales que el minero explota y que no tienen la menor relación con los magmas ígneos.

Otro factor que interviene en la formación de criaderos no filonianos son las aguas de circulación interior de origen meteórico, que ejercen acciones disolventes sobre las rocas que atraviesan, favorecen su desintegración y la oxidación de algunos componentes, arrastran parte de sus elementos y abandonan residuos que por sí solos pueden constituir yacimientos minerales de valor industrial. De este modo, rocas feldespáticas pueden transformarse en caolín, y si el clima es lluvioso y cálido, como ocurre en los trópicos, la transformación puede avanzar más y desdoblarse el silicato de alúmina en sílice y óxido de aluminio, siendo éste el origen de los yacimientos de bauxita, mineral que, por ser más fácilmente reducible en el horno eléctrico que el silicato, constituye la mena más importante de aluminio.

Se han dado casos también en que las aguas de infiltración, atacando rocas andesíticas ricas en feldespatos, han originado un tipo especial de tierras arcillosas, compuestas por silicoaluminatos de alúmina distintos del caolín, que, tratados por el ácido sulfúrico en caliente, pierden una molécula de la alúmina de la base y quedan en un estado, si no de equi-

librio inestable, por lo menos deseosas, ávidas, por decirlo así, de apoderarse de alguna otra molécula básica para consolidar su estabilidad. Por ello, puestas estas tierras así tratadas, así *activadas*, como se dice en el argot de esta industria, en contacto con la clorofila, sustancia de reacción alcalina, la absorben, la fijan, y las sustancias teñidas de verde por ella, como los aceites y otros líquidos, quedan decoloradas.

La explotación de estas tierras decolorantes llegó a alcanzar en la provincia de Almería, en los años que precedieron a la actual guerra mundial, bastante importancia.

La magnesita (carbonato de magnesio), tan empleada como material refractario, se explota a veces en yacimientos formados por la acción de las aguas superficiales que la arrastraron de rocas ígneas básicas, desintegradas y descompuestas. En estas rocas el magnesio se encuentra en forma de silicatos, que se transforman en carbonatos por la acción de los agentes meteóricos.

Pero la mayor parte de las sustancias enumeradas, y desde luego la cal, el hierro, el manganeso, el fosfato de cal y la magnesita, se encuentran también en yacimientos de origen ígneo. Carbonatos de cal, de hierro y de manganeso forman muchas veces las gangas de los filones metalíferos y representan fases retardadas de la deposición magmática, posteriores a las que precipitaron los sulfuros. Los yacimientos de manganeso de Huelva (Rhodochrosita, carbonato, y Rhodona, silicato) son, como ya dijimos, de origen magmático y resultado de impregnaciones debidas a las disoluciones residuales de la deposición de las piritas, y las fosforitas de Logrosán parecen ser un producto de alteración de la apatita relacionada con diques de pegmatita, y tienen, por tanto, aunque remoto, origen ígneo.

Pero todos los yacimientos minerales formados por la acción de las aguas del mar, de los lagos o de las corrientes

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

CAPAS DE AZUFRE Y ALUNITAS (BENAHADUX)

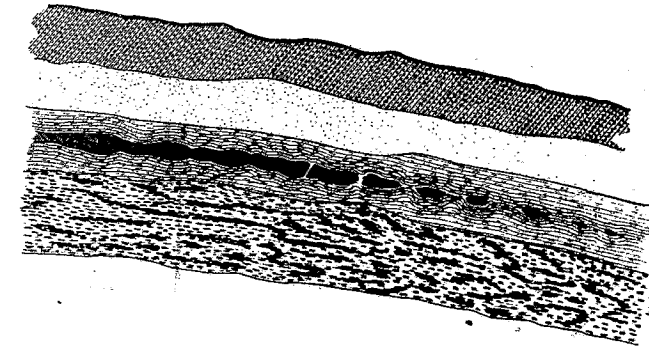


Fig. 7.—Formación y concentración de minerales en el seno de estratos sedimentarios.

FILÓN MONTANA EN TONOPAH (NEVADA)

- Andesita (roca de caja)
- Mena pobre
- Geoda tapizada con fajas de cuarzo, carbonato de hierro y mena muy rica.

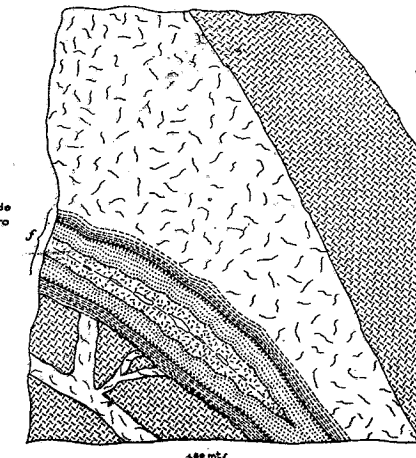


Fig. 8.—Cristalizaciones rítmicas en huecos o geodas de filones.

subterráneas, corresponden a los elementos más abundantes en la corteza terrestre, en tanto que los de los metales que escasean, o son francamente raros, como el oro, la plata, el platino y el tungsteno, son de origen magmático.

Como ya os dije en mi anterior conferencia, hubo una época en que se creyó que la concentración de esos elementos raros y, por consiguiente, la formación de sus criaderos, se debía a la acción de las aguas superficiales. Puesto que las rocas contienen en forma diseminada toda clase de metales, aun de los más raros, no era descabellado suponer que las aguas que se infiltran en el subsuelo y discurren por las fisuras y las grietas de la corteza hubieran podido arrastrar o disolver dichos elementos, para depositarlos luego en otras grietas y formar filones. No se pensaba, sin embargo, en que esas aguas, como agentes de ataque y disolución, limitan su trabajo a la zona inmediata a la superficie comprendida entre la atmósfera y el manto freático, que sólo actúan como disolventes a favor del oxígeno y del ácido carbónico, que toman del aire, y que pierden su actividad química en cuanto quedan desposeídas del aire disuelto. Así, estas aguas son incapaces de rellenar grietas profundas ni aun con las sustancias más comunes, y no digamos nada de sustancias metálicas como el plomo, el cinc, el cobre o la plata.

No hay una sola prueba de que aguas procedentes de la superficie hayan originado una concentración filoniana, primaria, de galena, de blenda o de calcopirita; pero si realmente se hubiese comprobado que las aguas de infiltración habían formado un filón de cuarzo y galena, por ejemplo, habría que preguntar en virtud de qué principios de alquimia, más que de química, disolvían las aguas en las rocas profundas el plomo y el cuarzo, y no la cal, la magnesia, el hierro o la potasa, y qué mano oculta había guiado a las disoluciones para que se encaminaran a la grieta que habían de con-

vertir en filón de plomo y no se mezclasen con las que caminando en otra dirección habían de formar unos pasos más allá un filón de cobre, de plata o de tungsteno.

Lo que ocurrió en este caso, a nuestro proceso mental, fué lo de siempre: teníamos que enfrentarnos con un hecho consumado, la existencia de filones metalíferos, y había que buscarle una explicación. Y, como ha hecho siempre el hombre, atribuyó su origen al agente que le era más familiar: el agua atmosférica, que se sabe que puede disolver y precipitar. Luego, cuando Sandberger descubrió que las rocas contenían metales, nuestra imaginación se aferró a estos tres conceptos: filones, agua, rocas, y los unió, saltando sobre un abismo de improbabilidades, sin tener en cuenta que para que las rocas cedan algo de lo que contienen interpuesto en su masa hay que destruirlas previamente, desintegrarlas, reducirlas a material arcilloso. Y pocas son las rocas que se encuentran en ese estado. La mayoría están compactas y sanas y retienen firmemente lo que la Providencia les concedió en el momento de formarse.

Quédanos por considerar otro factor que también se creyó que podía intervenir en la formación de los filones metalíferos: las aguas termales.

Se cree hoy, y al parecer con fundamento, que la mayor parte de las aguas termales son magmáticas, aguas "juveniles", como las denominó. Suess; esto es, que proceden de magmas ígneos que se están consolidando y enfriando, aun cuando en muchos casos se mezclen a ellas cantidades mayores o menores de aguas meteóricas superficiales. Es indudable que, desde el punto de vista químico, las aguas termales son más activas que las aguas meteóricas; casi todas depositan en sus puntos de emergencia tobas, calizas unas veces, silíceas otras, y algunas con indicios y aun con cantidades apreciables de hierro, magnesio, azufre, boro y alumbre, y

hasta metales raros, como el mercurio, el plomo, el estaño y el cobalto. Pero por las pruebas que hasta ahora tenemos, las aguas termales no depositan sustancias minerales sino por reacción de la atmósfera en los mismos puntos de emergencia. En las grietas por donde circulan, muchas de las cuales han sido cortadas por labores mineras, no se ha visto que efectúen depósito alguno.

Desde el momento en que las aguas termales parecen ser de origen magmático, su relación con los magmas metalíferos, productores de los filones propiamente dichos, es innegable, y al encontrarse en las tobas depositadas por algunas fuentes termales indicios de metales no se faltó a la lógica al pensar que dichas aguas pudieran ser el agente que había originado los filones. Algunas fuentes termales depositan boratos, y los boratos son de origen magmático, pues el boro es característico de ciertos minerales de los magmas pétreos, como la turmalina, y se encuentra en muchas fumarolas volcánicas, lo que da a entender, por otra parte, que las emisiones gaseosas volcánicas y las fuentes termales deben tener origen muy semejante.

Elemento corriente en las fumarolas es el nitrógeno. Lindgren cree que los yacimientos de nitratos de Chile se deben a la acción de fumarolas nítricas o a la de aguas termales cargadas de nitratos. Algunos geólogos han tratado de explicar su formación de otras maneras, pero su asociación frecuente con boratos parece delatar su origen volcánico. Insisto en lo del boro porque no es elemento corriente en la corteza; en la lista de los cuerpos por orden de su abundancia ocupa el lugar 28, entre el cobalto y el cinc, y aparte de otras consideraciones bastaría esta circunstancia para considerarlo siempre de procedencia magmática.

Otro cuerpo que se presenta con bastante insistencia en los depósitos originados por las fuentes termales es el mer-

curio; su mena principal, el cinabrio, no se ha encontrado nunca formando filones, como los sulfuros de los demás metales, sino en incrustaciones o impregnaciones, acompañado de calcedonia, calcita, barita y yeso, y no de minerales formados a temperaturas elevadas, como la fluorina o la adularia. La génesis del mayor criadero del mundo, el de Almadén, bien manifiesta por lo que se refiere al proceso de impregnación de unos bancos de cuarcitas silurianas, magistralmente descrito por mi querido jefe, D. Primitivo H. Sampelayo, confirma lo que acabo de decir. El único sulfuro metálico que se encuentra en el criadero de Almadén, aparte del cinabrio, es la pirita de hierro, que no se sabe a punto fijo si es o no de origen magmático, porque casi todas las rocas sedimentarias del Siluriano de aquella comarca la contienen en mayor o menor cantidad.

Las fuentes termales que depositan elementos metálicos contienen gran cantidad de sílice. En las de Steamboat (Nevada), la sílice representa el 11,41 por 100 del residuo sólido; en las de los geysers de Yellowstone Park, el 27 por 100; en los geysers de Islandia, el 45 por 100. En las de la solfatera de Pozzuoli (Italia) es sílice el 13 por 100 del residuo fijo. Pero en todas esas aguas ese residuo es pequeñísimo. En las de las fuentes de Steamboat, el 2,85 por 1.000; en las de Yellowstone Park, el 1,39 por 1.000; en las del Gran Geyser de Islandia, el 1,13 por 1.000, y en las solfateras de Pozzuoli, el 2,48 por 1.000.

No se concibe que con tan minúsculo contenido en materias sólidas (el mayor hemos visto que no llega al 3 por 1.000) puedan haber formado dichas aguas filones de sulfuros o de gangas, o de ambas cosas a la vez, ni siquiera impregnaciones del tipo de la de cinabrio en Almadén, y la conclusión a que parece razonable llegar es que las aguas de las fuentes termales no representan los magmas metalíferos que han for-

mado los filones profundos, y son tan sólo los residuos acuosos de tales magmas. Los magmas metalíferos, según hemos dicho, pueden diferir considerablemente a este respecto unos de otros: desde magmas aplíticos, relativamente secos y pastosos, hasta magmas pegmatíticos, fluidos y acuosos, y magmas superpegmatíticos, excesivamente diluidos, muy ricos en agua y gases, como los que, sin duda, han dado origen a los yacimientos de sustitución, o metasomáticos; pero todos ellos completamente diferentes de las aguas magmáticas residuales, que son las que, sin duda, surgen en las fuentes termales.

Uno de los fenómenos que más contribuyeron en épocas pasadas a fomentar la idea de que los criaderos filonianos se habían formado por el lento relleno de grietas preexistentes es el fajeado de algunos filones o, mejor dicho, de partes de algunos filones. Pues bien: aun estos filones de textura fajeada han debido formarse por disoluciones magmáticas próximas al punto de saturación e inyectadas a presión en las fisuras de la corteza, pues el examen de muchos de ellos pone de manifiesto inclusiones de fragmentos angulosos de las rocas de la caja, que prueban que la disolución magmática tenía suficiente viscosidad y densidad para mantener en suspensión tales fragmentos. Y el fino fajeado de menas y gangas que rodea a esos fragmentos y tapiza las paredes de las grietas y geodas lo único que demuestra es que tuvo lugar en esos casos una cristalización rítmica u oscilatoria de los diversos componentes de la disolución.

La cristalización rítmica parece indicar que la deposición de una faja, supongamos de sulfuros, dejó a la disolución magmática desequilibrada, con cuarzo en exceso, y la subsiguiente deposición de cuarzo dejó un exceso de sulfuros, que, a su vez, volvieron a cristalizar, y así sucesivamente. El que las fajas sean más delgadas al principio y más anchas hacia el centro de la grieta o geoda parece debido a la pér-

dida de densidad o de concentración del magma metalífero por efecto de las primeras cristalizaciones, pues cuanto más diluídas son las disoluciones más tranquila y duradera es la precipitación de una sustancia determinada. Los huecos o geodas del filón indicarían que no había habido materia suficiente para completar el relleno en ese punto, huecos que habrían quedado ocupados por el agua residual y los gases.

Estas geodas se presentan en la última fase, delicada-

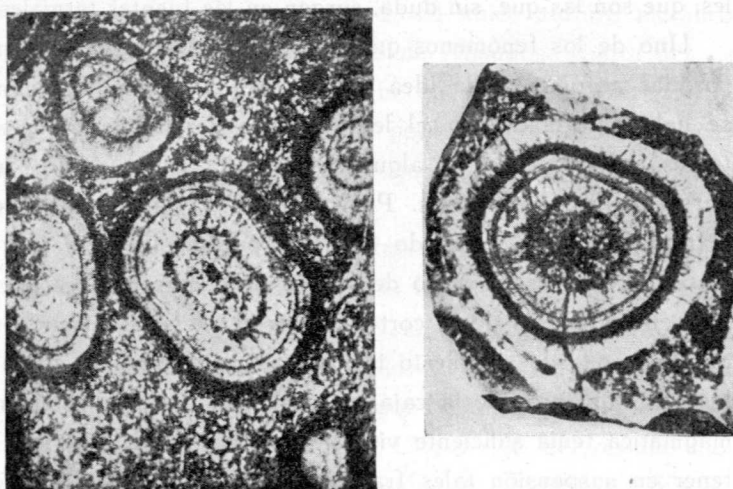


Fig. 9.—Cristalizaciones rítmicas en magmas pétreos (diorita orbicular).

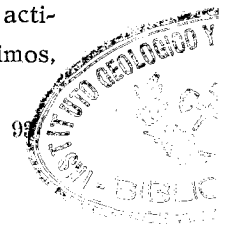
mente fajeada, del filón "Montana", en Tonopah (Nevada) (fig. 8). Son muy pequeñas en relación con el tamaño del filón y están tapizadas con cristallitos de adularia. La parte principal del filón es mena compacta, mientras que la parte fajeada, de formación posterior, muestra capas alternantes de sulfuro de plata y de cuarzo y carbonatos térreos, debidas a la cristalización rítmica u oscilatoria de disoluciones exudadas probablemente por la masa principal de la mena. Estos filones con geodas se parecen mucho a algunos diques peg-

matíticos que también presentan vacíos producidos al tiempo de efectuarse la cristalización. Por tanto, estos filones deben haberse formado por magmas metalíferos de tipo pegmatítico, pero no por aguas residuales.

Estos fenómenos de precipitaciones o cristalizaciones rítmicas se presentan también en los magmas pétreos, pastosos, en los que no se puede recurrir para su explicación a disoluciones diluídas. La llamada "diorita orbicular" tiene una estructura análoga, debido a que al efectuarse las primeras cristalizaciones en forma un tanto irregular quedaron espacios de forma esferoidal llenos de magma flúido, que en cristalización tranquila y sosegada fué depositando capas alternantes de feldespatos y anfíboles (fig. 9).

* * *

Los criaderos metalíferos de tipo filoniano, de cuyo modo de formarse nos hemos ocupado en estas conferencias, han experimentado muchas veces con posterioridad a su depósito modificaciones importantes, por lo cual se nos pueden presentar ahora con estructura e incluso con composición distintas de las que tuvieron en un principio. En estos cambios intervienen ya como principal agente las aguas de circulación interior de origen meteórico (alguna vez habían de desempeñar papel importante estas aguas en relación con los filones), y para poder distinguir en la estructura actual de un filón la parte que corresponde a la acción de los agentes magmáticos y la que corresponde a las aguas meteóricas, es necesario conocer en qué forma y hasta qué punto pueden cambiar estas aguas la composición y la textura originarias de los criaderos. Esta acción de carácter secundario es a veces muy importante, como vais a ver, y puede repercutir en la explotabilidad de determinados yacimientos. Ahora bien: la actividad de las aguas meteóricas está limitada, como ya dijimos,



a la zona alta de la corteza, donde esas aguas contienen cantidades mayores o menores de oxígeno y de ácido carbónico, y merced a ello son aptas para reaccionar con determinados compuestos metálicos, disolviendo parte de sus elementos o transformándolos íntegramente en combinaciones solubles para arrastrarlos luego en el sentido de avance de los filetes líquidos y depositar toda su carga o parte de ella al ponerse en contacto con otras sustancias. La zona donde las primeras reacciones tienen lugar se llama "zona de oxidación", y la inmediatamente inferior, donde se efectúan las nuevas precipitaciones, "zona de cementación". Como se sabe, el agua llovediza, al infiltrarse en el subsuelo, sigue una trayectoria vertical o casi vertical hasta alcanzar la zona saturada, que constituye una especie de lago subterráneo, cuya superficie no es horizontal, sino ondulada, y reproduce atenuadamente el relieve topográfico. Las aguas que forman este lago están hasta cierto punto estancadas, pues aunque el lago se descargue lateralmente por las fuentes que alimenta, el movimiento de la masa líquida es muy pequeño. Así, la superficie de ese lago, que recibe el nombre de nivel hidrostático, aun cuando mejor le cuadraría el de nivel hidrodinámico, constituye el límite inferior de la zona de oxidación.

Pero este proceso de empobrecimiento de la zona de oxidación y de enriquecimiento de la zona de cementación es sumamente lento, hasta el punto de que en los países nórdicos, que durante el período glacial estuvieron protegidos por el casquete de hielo, y donde los heleros arrollaron luego los materiales sueltos y las rocas disgregadas, no se observan en nuestros días ni vestigios de fenómenos de cementación o enriquecimiento secundario, y eso que, según los geólogos de tipo sabio, el hielo desapareció de aquellas regiones hace unos mil siglos.

El enriquecimiento de los criaderos por efecto de esas

acciones oxidantes y reductoras depende mucho de la composición de los minerales primarios y de la naturaleza de los metales. El oro, por ejemplo, es relativamente insoluble, y en los filones de cuarzo aurífero formados a gran profundidad, en los que, como se dijo, el oro suele encontrarse en estado metálico, el enriquecimiento secundario es insignificante. Pero cuando el oro se encuentra en forma de seleniuros, sulfuros o telururos complejos, como suele ocurrir en los filones formados a poca profundidad o a profundidades medias, es frecuente que el enriquecimiento secundario tenga importancia decisiva para el valor industrial de los criaderos. Tal es el caso del oro que acompaña a las piritas de Huelva, y del que en forma de sulfuros y arseniuros complejos contienen los filones de Cabo de Gata.

En Huelva, y especialmente en la región de Riotinto, el oro contenido en las piritas y arsenopiritas en cantidades ínfimas se fué desplazando hacia abajo a través de la zona de oxidación y acumulándose sobre la masa no atacada de los criaderos en unión de otros productos de descomposición de la mena, originándose así en la base de las monteras ferruginosas capas de material terroso de coloración amarillenta o rojiza, donde se ha concentrado, no sólo el oro, sino también la plata que contenían los minerales primarios (figura 10). Al ver estas tierras arcillosas nadie podría sospechar que contienen metales preciosos y en proporciones de hasta 30 gramos de oro y 80 de plata por tonelada, y, sin embargo, no se les fueron por alto a los romanos, que las explotaron hasta casi agotarlas y en condiciones de laboreo bien difíciles por su irregularidad y poca potencia. Y según se ha podido comprobar, aun en masas de piritas vírgenes, o al parecer vírgenes, sin afloramientos visibles, y que recientemente fueron descubiertas por sondeos, la capa de metales preciosos había sido arrancada por los romanos.

En Rodalquilar, los cuarzos auríferos sólo tienen leyes explotables en la zona de cementación, y en cuanto se pasa un poco del nivel hidrostático el contenido en oro descende a cifras insignificantes.

Donde más se manifiestan los efectos de la concentración secundaria es en los criaderos de cobre. Este metal se solubiliza fácilmente por la acción de las aguas aireadas de la superficie, que transforman los sulfuros insolubles en sulfatos solubles, y en esta forma descende el cobre hasta zonas más profundas, donde reina una atmósfera o medio ambiente reductor, y vuelve a precipitarse, ya como calcopirita o como sulfuros mucho más ricos en cobre: la bornita, la calcosina o la covelina.

Cuando el lavado de las masas minerales o de las rocas que contienen cobre es incompleto y el cobre disuelto no desciende rápidamente por falta de circulación subterránea, los minerales primarios se suelen transformar en carbonatos (malaquita y azurita) y en óxidos (cuprita).

Este proceso es muy importante desde el punto de vista económico, y son muchos los criaderos de este metal que sólo tienen leyes explotables en la zona de cementación, y en cuanto se penetra en la de los minerales primarios se empobrecen y resultan inexplotables. La mayoría de los criaderos españoles se encuentran por desgracia en este caso, y como los romanos no tropezaron con grandes dificultades para explotar las partes altas de los filones donde tales enriquecimientos secundarios se produjeron, sólo legaron a la posteridad una serie de yacimientos sin valor real como criadero de cobre.

Un tipo interesante de yacimientos secundarios de cobre es el que los americanos llaman de "cobres porfíricos". Proceden de la concentración, por las aguas, de minerales cupríferos diseminados, bien en la masa de rocas hipogénicas des-

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

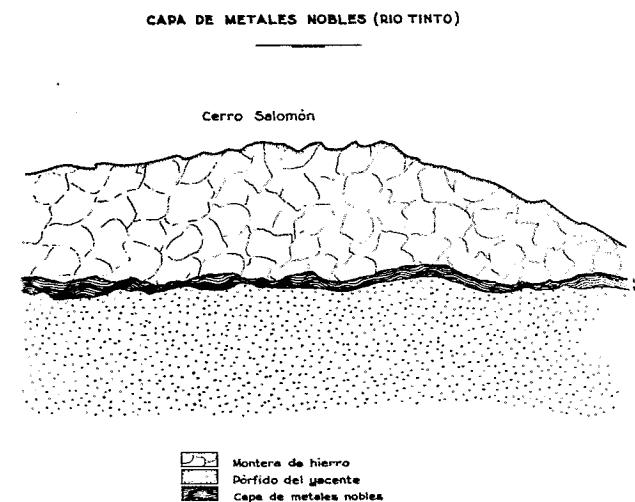


Fig. 10.—Acumulación secundaria de residuos arcillosos con metales nobles en la base de monteras ferruginosas.

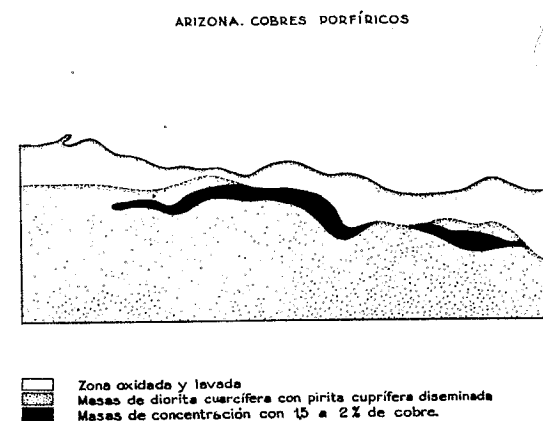


Fig. 11.—Concentración secundaria de sulfuros de cobre en el seno de rocas con pirita ferrocobrizada diseminada.

compuestas, generalmente dioritas cuarcíferas, bien en capas sedimentarias de areniscas o pizarras (fig. 11). Se cita entre los más importantes el de Arizona, cuya sección longitudinal representa esta figura, en la que se destacan la zona de minerales primarios, la zona superficial lavada y las masas de enriquecimiento; pero existen otros yacimientos no menos importantes en Utah, Nevada, Nuevo Méjico y Méjico.

En España, en la vertiente pirenaica, entre Sos del Rey, Biel y Labata, las areniscas calíferas del Oligoceno lacustre, y también, a veces, las del Mioceno continental, contienen sulfuros diseminados de cobre procedentes de sales cúpricas que fueron impregnando los materiales sedimentarios a medida que se iban depositando (fig. 12). Varias capas de areniscas impregnadas de dicho metal afloran con fuerte buzamiento al Sur, en corridas de más de 100 kilómetros, y están cortadas transversalmente por regajos y riachuelos que sangran los mantos acuíferos circunscritos a esas mismas areniscas, y como las corrientes subterráneas circulan paralelamente a la corrida de las capas, van lavando las rocas entre cada dos arroyos, y al aflorar en las márgenes de éstos en forma de filtraciones o exudaciones y evaporarse el disolvente depositan su contenido cuprífero, aumentando la ley en metal de las areniscas en los últimos metros del recorrido subterráneo y cubriendo su superficie con ligeras costras de hidrocarbonatos. Pero este enriquecimiento se produce sólo en unos cuantos metros de roca a partir del plano de la ladera y por encima del nivel de los arroyos. El resto de las capas de areniscas queda prácticamente lavado y sin indicios apenas de cobre, y por debajo del nivel freático tampoco presentan más ley que la que corresponde a la impregnación primaria, que es insignificante. Así, estos yacimientos, a pesar de su aparatosa presentación, no tienen valor alguno.

En los criaderos de plomo se observan también sulfuros

de formación secundaria depositados por las aguas descendentes sobre la mena primitiva. Con el plomo suele emigrar la plata que estos yacimientos contienen casi siempre. La galena de segunda formación suele tener el grano más fino que la de origen primario, porque, sin duda, la plata entorpece la libre cristalización del sulfuro de plomo. Concentraciones secundarias de galena, partiendo de menas complejas con arsenopirita, pirita, pyrrhotita y calcopirita, se presentan en el distrito de Monte Cristo (Estado de Washington) (figura 13). La mena primaria sólo contiene allí indicios de galena, pero cerca de la superficie (se trata de una región bastante lluviosa) la galena se ha concentrado en los filones, y el límite inferior de la concentración es paralelo al perfil del terreno.

En estos procesos de remoción y reajuste de menas primarias han ocurrido a veces cosas notables. En el distrito de Monterrey (Méjico) se explotaban de antiguo filones de galena y blenda, en los que por la acción desintegradora de las aguas de infiltración el sulfuro de plomo se hallaba generalmente convertido en carbonato en la zona de oxidación, en tanto que el sulfuro de cinc había sido arrastrado a mayores profundidades; mejor dicho, se suponía que había ocurrido así, porque es regla general que cuando los sulfuros de plomo y cinc sufren el ataque de las aguas meteóricas el cinc es transportado más lejos que el plomo. Pero en la mina "Zaragoza" de aquel distrito se observó que mientras el plomo apenas se había desplazado de su posición primitiva, si bien se había transformado en una mezcla de carbonato y galena secundaria, los productos de descomposición de la blenda se habían infiltrado en la roca caliza de los hastiales del filón, y el cinc había sustituido al calcio, convirtiendo a la caliza en carbonato de cinc (smithsonita). De esta manera la roca de la caja había quedado transformada en una ex-

CRÍADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO. SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

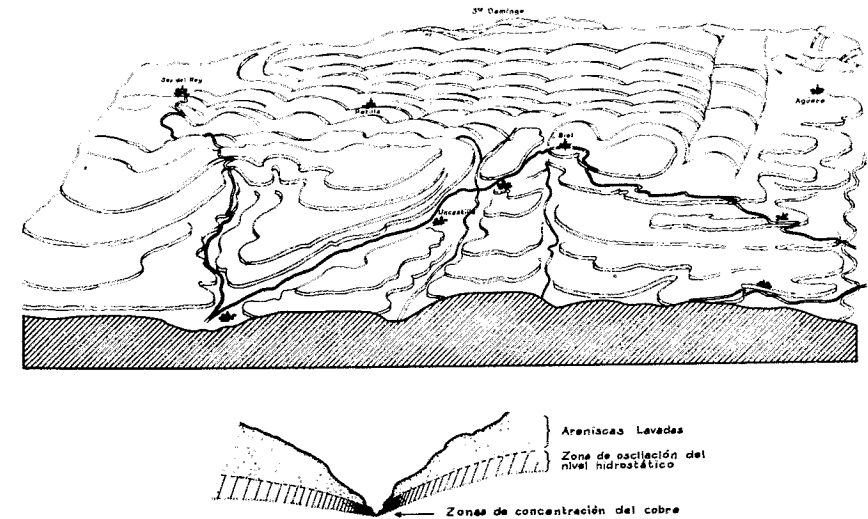


Fig. 12—Concentraciones secundarias de sulfuros de cobre en Biel (Pirineo Aragonés).

GALENA SECUNDARIA. DISTRITO DE MONTE CRISTO. (ESTADO DE WASHINGTON)

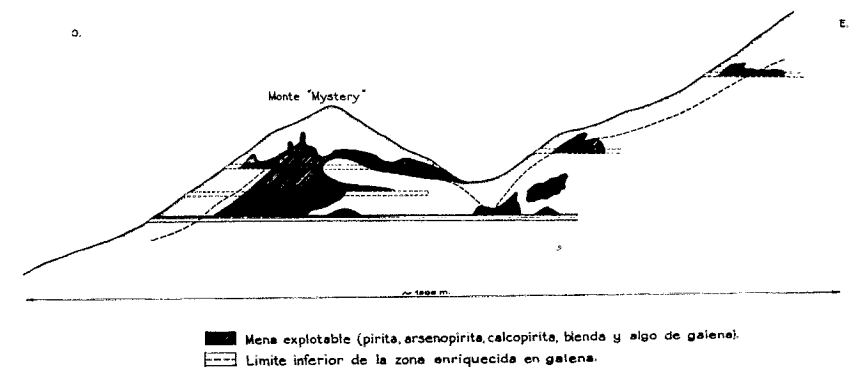


Fig. 13.—Concentraciones secundarias de galena en filones de pirita arsenical, calcopirita y blenda con proporciones mínimas de sulfuro de plomo.

celente mena de cinc, pero conservando la textura y hasta la coloración primitiva de la caliza. La explotación de estos filones se había parado siempre al llegar a los hastiales, sin sospechar que la supuesta caliza de la caja fuese un mineral de cinc de gran valor; pero este "camuflaje" del carbonato secundario de cinc resultó ser un fenómeno general en todo el distrito de Monterrey, y cuando se reveló el secreto las viejas minas de plomo, ya abandonadas, se pusieron de nuevo en explotación.

Las calizas son las rocas aptas por excelencia para servir de asiento a estos fenómenos de metasomatismo. Su transformación en siderosa es cosa corriente y fué el primer paso en la génesis de los ricos criaderos de hierro de Bilbao, de Murcia y de Almería; pero en España tenemos un caso notabilísimo de sustitución metasomática: el cambio del calcio por el estroncio (un verdadero refinamiento selectivo), que tuvo lugar en el ingente peñón llamado "Monte Vives", que surge como una isla de entre los depósitos lacustres del Mioceno superior que rodean la vega de Granada. Su enorme masa, de caliza triásica, fué convertida parte en estroncionita y parte en celestina; es decir, parte en carbonato y parte en sulfato de estroncio.

¡Y para que veáis lo que puede el espíritu de observación! ¿Sabéis quién descubrió ese riquísimo yacimiento de estroncio, por su volumen tal vez único en el mundo? Pues un fotógrafo de esos que van de pueblo en pueblo, con su máquina a cuestas, retratando por las plazas públicas parejas de enamorados, chiquillos y militares. Desde niño—me contaba él—había tenido una afición loca a las piedras, como si presintiese que las piedras habían de llevar algún día la felicidad a su humilde hogar.

En sus correrías profesionales no encontraba piedra que no mirara y remirara, y no una vez ni dos había dejado abandona-

do en el borde de una vereda su "establecimiento ambulante", como irónicamente llamaba él a su vieja máquina, para internarse por un vericuetto y examinar a gusto un tajo o un peñasco que de lejos le había llamado la atención. Y así un día, en mayo de 1939, al pasar por "Monte Vives" y echar una ojeada a aquel peñón solitario, atalaya de la vega granadina, quedó impresionado con las figuras extrañas que la erosión había modelado en su desnuda superficie: formas raras y nunca vistas, decía él; formas típicas, digo yo; tan típicas, que después de haberlas visto una vez me atrevería a identificar a 100 metros de distancia masas de caliza metasomatizadas por el estroncio.

Se acercó a uno de aquellos torreones de silueta mamilar que erizaban la ladera del monte, hizo saltar un trozo de la roca, y al recogerlo del suelo notó al momento que su peso era mucho mayor de lo corriente. Se guardó unas muestras, que enseñó a varias personas entendidas en minería, pero todas le despreciaron olímpicamente; a juicio de ellas aquellos trozos de piedra eran tan sólo... eso: piedras. Mas nuestro hombre no se conformó con las opiniones de estos prácticos, y, valiéndose de un amigo, consiguió que el farmacéutico de un pueblo le analizase una de ellas para ver si contenía plomo o plata. El resultado fué negativo. ¡Primer desengaño!

Al cabo de algún tiempo logró que el boticario de otro pueblo le hiciese un nuevo análisis; esta vez por ver si las piedras contenían cinc o bario, y... nada. ¡Otra desilusión!

Pero el fotógrafo no se resignaba a admitir que su espíritu de observación pudiera engañarle, y a fuerza de economías y privaciones llegó a reunir 175 pesetas que le pedían en un laboratorio de Granada por un análisis completo del mineral. Y el análisis se hizo, pero el certificado que le entregaron le dejó perplejo y desilusionado una vez más.

Oxido de estroncio—decía aquel papel—...	68,3 %
Acido carbónico	29,1 %
Determinación mineralógica: Estroncianita.	

Pero, ¿qué era la estroncianita?, nombre que sonaba por primera vez en sus oídos. Y, sobre todo, ¿para qué podría servir la estroncianita?

No os voy a describir, entre otras cosas porque no sabría hacerlo, el calvario que hubo de recorrer nuestro hombre hasta verse dueño de aquel rico yacimiento y poder firmar el primer contrato de venta de mineral. Lo que sí sé deciros es que, como él suponía, su espíritu de observación no le traicionó; y su tesón admirable y su firme decisión de no darse por vencido le aseguraron, al fin, lo que tanto había deseado y tantas veces, pensando en su mujer y en sus pobres hijos, había pedido a Dios: verse libre de aquella vida errante y azarosa que le separaba de los suyos, y un poco de tranquilidad en los años de su vejez.

¿Premio a su fe, como decían unos? ¿Premio a su espíritu de observación, a su laboriosidad y a su constancia, como decían otros? ¿Premio a ambas cosas, pienso yo! Que bien dice nuestro refrán: "A Dios rogando y con el mazo dando".

Y perdonen ustedes este inciso, que en realidad no venía muy a cuento; pero al nombrar "Monte Vives" cruzó por mi memoria el recuerdo de este hombre, que un día me impresionó por su originalidad y su sencillez, y no he podido resistir a la tentación de contaros esta anécdota.

En regiones desérticas se han producido a veces enriquecimientos de los afloramientos de los criaderos por movimientos ascendentes del agua, de tipo capilar. Los depósitos de sales alcalinas en superficies ocupadas por antiguos lagos reconocen este origen, y en no pocas minas los frentes abandonados durante algunos años presentan por análogo motivo,

en los primeros centímetros, una riqueza superior a la media de los filones. El cobre se ha concentrado así en la superficie de los pilares de pirita abandonados en las explotaciones de Riotinto, y los mineros han de tener en cuenta estos fenómenos cuando traten de obtener muestras en minas abandonadas, para no sufrir decepciones.

* * *

Si hubiese dispuesto de más tiempo habría tratado aún de dos cuestiones interesantísimas en relación con la génesis de los criaderos metalíferos: una, la dependencia de ciertos metales y menas metálicas con determinados tipos de magmas pétreos; otra, la edad geológica de las formaciones filonianas. Pero como ya es tarde y estamos todos cansados, me voy a contentar con enunciarlas.

Hay menas, como las de cromo, que se presentan siempre asociadas a rocas básicas, y otras, como las de estaño, que están relacionadas siempre con rocas ácidas. Nunca se encuentran menas de estaño en criaderos derivados de magmas básicos ni menas de cromo en criaderos derivados de magmas ácidos. Hasta ahora no se ha señalado una sola excepción a esta regla, y, por tanto, el estaño y el cromo pueden servir como índices de la naturaleza ácida o básica de los magmas originarios.

La única mena de estaño, la casiterita (óxido de estaño), se presenta en los filones acompañada de gangas como el topacio, la fluorina, la muscovita y la turmalina, que contienen fluor o boro o se forman por la influencia de estos cuerpos, lo cual demuestra que los magmas metalíferos que depositaron la casiterita eran ricos en dichos elementos gaseosos, y, por el contrario, la única mena de cromo, la cromita, óxido también, se presenta generalmente sola, sin gangas. Además, entre la casiterita y la cromita existe otra diferencia

notable: mientras que la cromita se deposita siempre en el seno del magma pétreo originario o en sus inmediatas cercanías, la casiterita se deposita en zonas más o menos distantes del magma original, sin duda por el poder emigratorio que le comunican los gases que la acompañan.

Todas las demás menas conocidas están relacionadas también con tipos determinados de magmas ígneos y forman, *grosso modo*, bien en el grupo que encabeza la casiterita, como las de tungsteno y molibdeno, o en el que preside la cromita, como los minerales de níquel y el platino; pero el desarrollo de este tema nos llevaría muy lejos, y no podemos, como digo, sino enunciarlo.

Por lo que respecta a la edad de las formaciones filonianas, se sabe que éstas se han originado en determinadas épocas de evolución de la corteza terrestre y se presentan siempre como etapa final de un proceso que comienza con la intrusión de rocas hipogénicas o, mejor dicho, con movimientos o desplazamientos de magmas ígneos.

Puesto que existen actualmente volcanes en actividad es lógico suponer que hay también en nuestros días desplazamientos de magmas. Fenómenos de plegamiento de la corteza y fallas de tipo catastrófico no se manifiestan afortunadamente hoy; pero los terremotos y las fallas que, aunque modestas, se producen de vez en cuando en el Japón, en California y en otros lugares del cinturón del Pacífico, demuestran que los fenómenos de plegamiento y fractura continúan en la época actual.

Y ocurre preguntar: ¿Se estarán formando también ahora filones metalíferos?

Si se pasa revista a los volcanes actuales se ve que, si bien la mayoría exhalan únicamente vapor de agua, ácido carbónico y, a lo sumo, gases sulfurados, con sales de los metales alcalinos, algunos, como el Vulcano, del que toman

nombre los demás volcanes activos de la Tierra, emiten emanaciones que depositan en las fisuras de las rocas del cráter cobalto, cinc, bismuto, plomo, hierro, arsénico y cobre, fluoruro de silicio y potasa (hieratita) y otros minerales que contienen fluor, y además ácido fluorhídrico libre.

En épocas geológicas pasadas debió ocurrir lo mismo, pues la mayoría de las intrusiones hipogénicas no dieron origen a filones metalíferos, y sólo algunas, las menos, se nos presentan unidas a criaderos de origen magmático. En consecuencia, nada se opone a que admitamos, y con fundamento, que en las zonas de la tierra donde los volcanes emiten o exhalan vapores y fumarolas que contienen, aunque en cantidades pequeñas, metales y metaloides de los que se encuentran normalmente en los criaderos metalíferos, se estén formando en profundidad filones análogos a los que, correspondiendo a intrusiones hipogénicas de épocas pasadas, explotamos hoy. Otro tema éste de los más interesantes en el estudio de las génesis filonianas, pero que exigiría más de una hora para su desarrollo.

* * *

Y para terminar voy a contestar a preguntas que me han dirigido dos señores que asistieron a mi primera conferencia.

Uno de estos señores no es profesional de la minería, pero se dió bastante cuenta, por lo visto, de lo que dije el otro día, y al oírme hablar de magmas metalíferos y de magmas pétreos y de erupciones volcánicas se le ha ocurrido pensar: ¿Y por qué los magmas metalíferos no surgen en la superficie, produciendo coladas de menas metálicas?

La observación es muy atinada y en un tiempo preocupó bastante a los geólogos; pero las investigaciones de volcanes extinguidos, profundamente erosionados, y de viejas chimeneas eruptivas, ha permitido esclarecer esta importante cuestión.

En el volcán de Cripple Creek (Colorado), estudiado por Lindgren, y notable por los ricos criaderos que arman en las rocas de su chimenea, la denudación ha hecho desaparecer el aparejo volcánico en unos 300 metros de altura y puesto de manifiesto el orden de sucesión de las coladas: la primera, de latita con sienita; la segunda, de fenolita, y la tercera, compuesta de una serie de diques de rocas basálticas (traquidolerita y basalto porfirico con olivino, o limburgita). La mineralización es posterior a todas esas emisiones de lava y tuvo lugar en fisuras producidas probablemente por el reajuste de las rocas de la chimenea al buscar su asiento definitivo. Los filones contienen telururos de oro, pirita, blenda, galena, algo de estibina y tetrahedrita, molibdenita y hübnerita; a veces, también calcopirita. Las gangas principales son: cuarzo, fluorina y dolomía, con celestina, orthoclase, roscoelita (mica con vanadio), calcedonia, ópalo, rodochrosita, calcita y barita.

Según Lindgren, los filones del Cripple Creek comenzaron a formarse a 1.000 metros de profundidad y terminaron a 200 bajo la base del cráter. Que algo impidió a magmas metalíferos tan ricos llegar hasta la superficie y formar allí masas de mineral por precipitación instantánea es evidente; y el hecho de que ningún volcán antiguo ni reciente haya dado origen a coladas de menas metálicas hace pensar que las condiciones necesarias para la integridad de los magmas metalíferos dejan de concurrir a cierta distancia de la superficie. La temperatura no debe entrar en juego, porque las fumarolas volcánicas alcanzan a veces temperaturas superiores a las que se consideran precisas para la estabilidad de los magmas, y, al parecer, es la pérdida de presión la que impide a los magmas metalíferos llegar hasta la superficie, como lo hacen los magmas pétreos.

La presión mínima necesaria para que el magma metalífero

conservar su integridad parece ser la correspondiente a una profundidad de 200 a 300 metros, porque se pueden citar infinidad de casos en que los trabajos mineros han descubierto a profundidades de ese orden lo que podríamos llamar techo del filón. Tal es el caso de los llamados "filones ciegos", que no afloran porque la tensión propia del magma no fué suficiente para abrir hasta la superficie la fisura por donde se inyectó.

Como caso notable de filón ciego se cita el de la mina "Carmen", en Guanajato (Méjico) (fig. 14). Asoma en el área de la mina una masa de rhyolita, y en la superficie se ve una pequeñísima fisura, una estrecha línea en que la roca tiene color amarillento claro, pero sin cuarzo ni ningún otro material filoniano. La fisura continúa en estas condiciones hasta unos 150 metros de la superficie; a partir de allí, la roca, a uno y otro lado de la fisura, cambia de color, toma tinte negruzco y comienza a cargarse de minerales de plata, principalmente argentita. A unos 30 ó 40 metros más abajo aparece la cresta o techo de un filón de cuarzo muy rico en argentita, que continúa hasta 300 metros de profundidad. La zona de rhyolita negruzca, descompuesta, que constituye la masa principal del criadero, parece amoldarse a la curvatura del terreno y pudiera parecer una zona de enriquecimiento secundario; pero el caso es que no hay criadero primario por encima. La rica zona de impregnación situada sobre el filón de cuarzo es una prueba manifiesta de ese proceso, en virtud del cual los minerales metálicos tienden a diferenciarse o separarse del cuarzo al cristalizar éste. En el distrito de Guanajato se señalan otros muchos filones que no afloran a la superficie, y lo mismo ocurre en el distrito aurífero de Waihi, en Nueva Zelanda (fig. 15). En todos estos casos, la terminación de los filones a cierta distancia de la superficie parece ser debida a la brusca pérdida de presión de los magmas, coin-

CRIADEROS MINERALES DE TIPO FILONIANO SU ORIGEN Y MODO DE FORMARSE

Conferencias dadas por el Ingeniero de Minas JUAN GAVALA

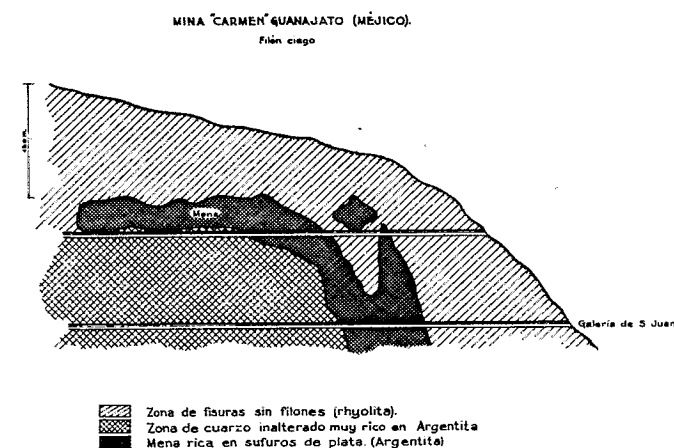


Fig. 14.—Filón ciego de Argentita.



Fig. 15.—Filones ciegos de cuarzos auríferos.

ciendo con el escape al exterior de los gases que hacían posible la disolución de las gangas y de los compuestos metálicos.

A base de estas consideraciones podría haber contestado la pregunta formulada; pero prefiero no hacerlo por mi cuenta, sino que sea una autoridad en la materia quien dé contestación categórica, y para ello voy a leer el siguiente párrafo de un estudio de Garrey, publicado en "Professional papers". Dice así:

"En las zonas profundas de la corteza, la consolidación o cristalización de los magmas metalíferos es lenta y gradual y está regida generalmente por la variación decreciente de la temperatura, que hace que los compuestos metálicos se depositen a distintas alturas, dando lugar a la conocida escala de deposición de menas. En las zonas altas, por el contrario, la variación de la temperatura influye mucho menos en esa deposición, porque los magmas llegan hasta cerca de la superficie sin perder calor apenas, y entonces es la pérdida de presión la que influye principalmente en su cristalización, que se verifica súbitamente y en forma mucho menos selectiva. Es decir, que los magmas metalíferos deben su integridad tanto al calor como a la presión; generalmente cristalizan al perder calor; pero si por cualquier causa su temperatura se conserva elevada hasta cerca de la superficie, es la pérdida de presión la que les obliga entonces a cristalizar y la que evita que puedan llegar hasta el nivel del suelo."

La otra pregunta es como sigue: Si las aguas juveniles no son las que han producido los criaderos filonianos, ¿qué relación tienen estas aguas con los magmas metalíferos y éstos con las fumarolas volcánicas?

En realidad, esta cuestión ha quedado ya aclarada en la conferencia de hoy; pero para dar una contestación categórica

por boca de otra autoridad en la materia, voy a leer un párrafo de una obra de Spurr, que dice así:

“Cuando la consolidación de los magmas metalíferos tiene lugar en profundidad, los vapores acuosos residuales, al ascender hacia la superficie y condensarse en las capas altas, mucho más frías, dan lugar a aguas termales que depositan en los puntos de emergencia residuos con indicios de metales, especialmente mercurio, y en menor proporción cobalto, cinc, plomo, bismuto, arsénico y antimonio.

Por el contrario, cuando la consolidación de dichos magmas tiene lugar en zonas altas, como su temperatura se mantiene entonces elevada hasta la misma superficie, los metales volátiles, juntamente con vapor de agua y otros gases, se desprenden como fumarolas. Pero ni esas aguas termales juveniles, ni esas fumarolas, aunque indudablemente proceden de magmas metalíferos que se están consolidando, debemos identificarlas con los residuos magmáticos que han dado origen a los criaderos filonianos, y nada tienen que ver, por otra parte, con las aguas termales y con las fumarolas corrientes, que son productos residuales que se desprenden de todos los magmas pétreos en proceso de cristalización.”

Hay, pues, dos tipos de aguas termales y otros dos tipos de fumarolas; pero dentro de cada grupo, las aguas termales y las fumarolas son en esencia una misma cosa, porque el que las emanaciones se produzcan en estado líquido o en estado gaseoso sólo depende de la profundidad del centro o foco de emanación.

Y a disposición de los interesados tengo estas notas, por si desean conservarlas como recuerdo de estas conferencias.

HE DICHO

**REVISION DE ALGUNOS DATOS
PALEONTOLOGICOS DEL FLYSCH
CRETACEO Y NUMULITICO
DE GUIPUZCOA**

POR

JOAQUIN GOMEZ DE LLARENA

A LA MEMORIA DE D. FLORENTINO AZPEI-
TIA Y MOROS (1859-1934), INGENIERO
DE MINAS, EXCELENTE PROFESOR
Y EMINENTE NATURALISTA.

JOAQUIN GOMEZ DE LLARENA
CATEDRÁTICO DEL INSTITUTO PEÑAFLORIDA, DE SAN SEBASTIÁN

REVISION DE ALGUNOS DATOS
PALEONTOLOGICOS DEL FLYSCH
CRETACEO Y NUMULITICO
DE GUIPÚZCOA

I.—PREAMBULO

Una de las regiones de España en donde mejor se puede estudiar la curiosa formación geológica del flysch se encuentra en la que constituye la costa guipuzcoana, sobre todo en el trayecto comprendido por la carretera de Zarauz a Zumaya, en cuanto al flysch eoceno, y entre Zumaya y Saturrarán, en cuanto al cretáceo. Los estratos, levantados hasta la vertical y con frecuencia formando pliegues tumbados y volcados, aparecen tajados por la erosión marina, tan intensa en esta región, y descarnados por el corte de la carretera. Su rumbo es, en varios puntos, normal a la costa, y de esta manera las capas muestran su material fresco e inalterado, lo que no ocurre cuando llevan algún tiempo expuestas a la acción de la intemperie. Los frecuentes deslizamientos del terreno, que obstruyen la carretera y a veces causan desgracias, proveen asimismo de abundante material de observación.

Existen algunos trabajos dedicados al estudio de esta región, de los cuales destacaremos dos: el de V. Kindelán (12), publicado en 1919, y el de F. Azpeitia (2), publicado en 1932, ambos en el *Boletín del Instituto Geológico y Minero de Es-*

pañá. Tanto uno como otro contienen láminas fotográficas que reproducen diversas pistas de las que se encuentran en la superficie de los estratos del *flysch*. En el trabajo de Kindelán se expone una lista de tales huellas o pistas, entre las que este autor considera alguna como nueva, si bien no es objeto de un estudio detenido, ya que el interés principal del trabajo se concentra en el estudio del yacimiento de numulites de Guetaria, descubierto años antes por el Sr. Azpeitia (2, pág. 6). Este último autor dedica su citado trabajo al estudio exclusivo de las pistas del *flysch*, principalmente del de Guipúzcoa, si bien no deja de incluir algunos ejemplos tomados de otros puntos de España. Las láminas de Azpeitia reproducen en fototipia y de modo perfecto e inmejorable muchas de las pistas por él estudiadas. El texto contiene la descripción de cada una de ellas, constituyendo así una monografía paleontológica del *flysch* cretáceo y eoceno de Guipúzcoa, en la que constan cuantos datos se poseían en aquella fecha sobre tan típica formación sedimentaria y desde el punto de vista de las ideas que entonces reinaban sobre la significación de estas impresiones fósiles.

Desde la publicación del trabajo de Azpeitia, último aparecido en España sobre este tema, el estudio de las huellas conservadas en los estratos del *flysch* y de otros terrenos sedimentarios ha progresado mucho. La atención de los geólogos y paleontólogos, cada vez más interesados en el conocimiento del modo de formarse los terrenos sedimentarios, ha llevado a rectificar muchas de las hipótesis que servían para explicar estas huellas o pistas de todos los terrenos sedimentarios, las cuales, de ser consideradas como la impresión o molde interno o externo del cuerpo de un animal o de una planta, en los primeros tiempos de la Paleontología, han ido pasando poco a poco a considerarse como pistas o rastros de distintos animales. Por esta razón, dado el interés que ofrece,

hemos creído útil exponer los puntos de vista actuales y rectificar algunas atribuciones de las pistas o impresiones de fósiles consignadas en los trabajos anteriores, al mismo tiempo que anotamos también algunos otros datos nuevos como resultado de nuestras investigaciones recientes en el terreno. Este es el objeto del presente trabajo.

En otra publicación aparte, hecha en colaboración con J. Mendizábal y M. Ruiz de Gaona, dedicamos la atención al estudio estratigráfico del *flysch* guipuzcoano, principalmente del numulítico, así como al bosquejo de su tectónica. En el presente nos limitamos, como ya arriba acabamos de indicar, al estudio de las pistas en él contenidas.

El *flysch* es un terreno de aspecto característico, inconfundible, ya reconocido así por los primeros geólogos, que incorporaron a la nomenclatura de su ciencia este nombre, tomado del lenguaje usual en los países de habla alemana en donde se encuentra. En la región de los Alpes austriacos, bávaros y suizos se desarrolla en los niveles del cretáceo superior y del terciario inferior y medio un terreno constituido por estratos de pizarras margosas blandas, alternantes con otros de areniscas, maciños o molasas, el cual, por la facilidad con que desprende losas, grandes o pequeñas, y aun paquetes enteros de estratos, recibe el nombre de "*flysch*", derivado del verbo alemán *fließen* (fluir, correr). La distribución geográfica del *flysch*, reconocida por muchos puntos del globo; su constancia de caracteres, y sobre todo la presencia de sus típicas pistas, son hechos notables que se cuentan entre los todavía misteriosos en el dominio de la ciencia geológica. En España el *flysch*, hasta que fué introducido este nombre por Stuart Menteath en 1880, se venía llamando "maciño de fucoides" (Mallada) o no se le distinguía de modo especial. Adán de Yarza, en 1884, sigue aplicándole el nombre de "marga pizarreña".

Varias particularidades llaman la atención en el flysch; entre ellas señalaremos la regularidad de su formación; su facies litoral; la alternancia de sus estratos, de espesor sensiblemente igual en los de idéntica composición; la abundancia de impresiones y relieves, huellas o pistas de origen orgánico e inorgánico en la superficie de aquéllos. Dejando para la publicación antes aludida el estudio de las primeras cuestiones, nos dedicaremos aquí al de las impresiones, huellas o pistas fósiles del flysch guipuzcoano. A diferencia de lo que sucede en otros terrenos sedimentarios, en los que al romper la roca aparecen en su interior los fósiles, los cuales a menudo también asoman al exterior o quedan en relieve, exentos o sueltos por la acción de la intemperie, en el flysch las impresiones fósiles aparecen casi exclusivamente en la superficie de los bancos, de preferencia en los duros de maciño o molasa. Tienen razón Götzinger y Becker cuando observan (9, página 392) que en estos terrenos del flysch cabe decir que las capas ricas en pistas son pobres en fósiles, en tanto que las abundantes en estos últimos apenas tienen de las primeras. En general, esto es cierto también en el flysch guipuzcoano, como lo demuestra, por ejemplo, el cretáceo de los alrededores de Zumaya (carretera a Deva, kilómetro 37-38), en el que se ven las capas de inoceramos alternar con otras de pistas, o el numulítico del faro de Zumaya, formado por capas de pistas alternantes con otras de numulites.

Lo más típico de la paleontología del flysch es lo que ahora consideramos como impresiones del paso de animales diferentes por la superficie de las capas durante su formación y que hasta hace poco se venían suponiendo la impronta del cuerpo de animales o vegetales que habían quedado sepultados en ellas. En los primeros tiempos de la Paleontología era casi indefectible que cualquier impresión conservada en la superficie de las capas duras del flysch o de otros terrenos, sobre

todo si ofrecía una simetría bilateral o radiada, fuera provista de un nombre binario y clasificada en un género y una especie pertenecientes a un grupo zoológico o botánico determinados. No obstante, bien pronto surgieron dudas y discusiones en la atribución de estas impresiones superficiales. Clásico es el caso de las *cruzianas* o *bilobites* de los terrenos paleozoicos, sobre todo de los silúricos, que consideradas al principio como algas motivaron más tarde una viva controversia por parte de los que negaban su origen vegetal. Ya Dawson, en 1878, y poco después Nathorst, no dudaban en suponer que tales fósiles eran simplemente el rastro dejado por los trilobites, artrópodos dominantes en los tiempos primarios. Abel (1, pág. 254) se adhiere, si bien con reservas, a esta última opinión. Carrington da Costa nos refiere en su interesante trabajo (4) la discusión que Nery Delgado sostuvo en defensa del origen vegetal de las *cruzianas* y hace un resumen de las diversas opiniones mantenidas hasta la actualidad por diversos autores sobre estas pistas.

Para evitar tales enojosas discusiones, y hasta que se fuera dilucidando cada caso, los paleontólogos acudieron al recurso de crear el grupo de los *Incertae sedis* o de los *Problematica*, en donde iba cobijándose toda clase de impresiones fósiles no referibles claramente a animales o vegetales. Con el tiempo, muchos de estos fósiles problemáticos han ido clasificándose como pistas, y así, poco a poco se ha desarrollado una rama de la Paleontología, la "Paleoicnología" (del griego *ichnos*: huella, pista), basada, por un lado, en la observación de las huellas, pistas o rastros dejados por los animales actuales, especialmente de las playas y marismas, y por otro, en el análisis e interpretación de las pistas fosilizadas y en su comparación con las primeras. En 1930 publicamos una breve noticia sobre la fundación de un Instituto de Geología y Paleontología Marinas, en Wilhelmshaven (7). Este centro estaba destinado a

recoger las observaciones que se fueran haciendo en las marismas de aquella región, que es una de las más adecuadas a este fin en todo el litoral europeo. Como es sabido, la marea deja allí descubiertas, durante la bajamar, inmensas superficies de terreno fangoso y arenoso, en el cual se reconoce una multitud de pistas o rastros dejados por los diversos animales que viven en la región intercotidal o mareal, esto es, en la comprendida entre los límites señalados por la pleamar y la bajamar. Desde la fundación de este Instituto, a cargo de la Universidad de Francfort del Main, hasta la fecha, han aparecido numerosos trabajos relativos a las marismas de la costa frisona que demuestran el interés que ofrece este tipo de observaciones, ya que por un lado encuentran aplicación inmediata en la interpretación de las pistas fósiles conservadas en los terrenos sedimentarios y por otro contribuyen a los progresos de las ciencias biológicas en general. Los estudios de Wassojewitsch en la región caucásica (25 y 26) y los de Götzinger y Becker en la clásica región de Viena (9 y 10) se cuentan entre las más valiosas aportaciones icnológicas sobre las pistas del flysch; el conocido paleobioólogo Otenio Abel resume en su obra (1) los conocimientos alcanzados hasta la fecha de la publicación de ésta en tales cuestiones.

Las impresiones conservadas en las capas del flysch comprenden varios tipos de formas, unas en relieve, otras en hueco. Se han creado nombres, tales como helmintoides, fucoides, corcolitos, etc., para designar fósiles de formas definidas, pero no atribuibles a un género o especie determinados, y otros, como *Scolicia*, *Lorenzina*, *Münsteria*, etc., para describir los que se suponían como indudables impresiones del cuerpo de animales o vegetales fósiles. Desde el punto de vista actual, ninguna de todas estas impresiones señaladas en el flysch se puede considerar como el molde interno o externo del cuerpo de un animal o vegetal, sino, casi todas, como el rastro o la

huella dejada por el paso de animales invertebrados por la superficie del terreno en formación en una playa de fango o de arena, según tendremos ocasión de ir viendo en el análisis de cada una de estas formas distinguidas en el flysch guipuzcoano.

La distinta dureza, la composición litológica, el grado de consolidación de las capas alternantes, que constituyen el flysch, establecen condiciones distintas también en la conservación de estas huellas o pistas. Las margas o pizarras margosas, que con el tiempo se hacen deleznales y se disgregan al menor golpe, apenas contienen pistas determinables. Al desprender una capa de marga es fácil que se desmorone y no deje reconocer, por tanto, las pistas que en ella estaban trazadas. En cambio, las calizas, molasas, maciños y areniscas conservan, hasta en sus más mínimos detalles, una multitud de pistas, muchas de las cuales apenas han sido aun estudiadas por no haberse interesado hasta ahora los paleontólogos por estas cuestiones. Se ha observado que, en general, en la cara superior de los bancos de roca dura predominan las pistas en hueco y que, al revés, en la cara inferior se reconocen muchas de aquéllas en relieve. Desprendiendo con cuidado la capa de marga o pizarra se verá que en su contacto con la de molasa o maciño que forma su techo, la pista en relieve de esta última se corresponde exactamente con la pista en hueco de la primera. En este caso se supone que el animal que ha originado la huella se ha debido desplazar por la superficie del fango, dejando un hueco tras sí que luego se ha rellenado de arena. Después, durante la diagénesis de los materiales sedimentados, el fango se ha aglutinado, formando la pizarra o marga arcillosa, y la arena cementada por la caliza ha formado los bancos de molasa o de maciño.

La distinción de las huellas que aparecen en una o en otra de las dos caras de cada capa de roca dura, o las que puedan

reconocerse en los materiales blandos intercalados entre aquéllas, es un medio importante para determinar la posición tectónica de los bancos del flysch. Este, como veremos en el trabajo que al numulítico dedicamos aparte, se presenta con numerosas inflexiones, pliegues y repliegues, los cuales, gracias, sobre todo, al examen de las pistas, son susceptibles de ser interpretados tectónicamente con cierta seguridad. Por lo general, en los bancos de maciño o de molasa, las pistas en hueco indican la cara superior, y las en relieve, la inferior. La alternancia de los bancos duros y blandos muestra la que había cuando se iban sedimentando estos materiales: a una fase de depósito de fango, constituido por finas partículas arcillosas, aglutinadas por elementos coloidales, seguía otra de depósito de arenas, que a su vez era seguida de otra nueva de fango. La profundidad a que se han formado estos depósitos nos la señalan, por un lado, las pistas, que se suponen hechas por animales durante la bajamar, y por otro, los *rippelmarks*, costillares o rizaduras de oleaje, conservadas en muchos bancos de molasa o de marga del flysch. Los *rippelmarks* aparecen, sobre todo, en la cara superior, formados, según se deduce de las observaciones hechas en las playas actuales, durante la bajamar. Las pistas se han producido con facilidad en la superficie de la playa cuando ésta quedaba cubierta por el lodo glutinoso, mientras que cuando aparecía invadida por la arena era más difícil que aquéllas se hicieran y se mantuvieran. La arena, unas veces demasiado apelmazada, otras demasiado húmeda e inconsistente, apenas permite conservar el rastro de los animales de poco peso, como son los cangrejos, y menos aún el de los de delicada constitución, como los gusanos, según tenemos ocasión de observar en nuestras costas. Por el contrario, las huellas dejadas en hueco por el paso de distintos animales en el fango se endurecen rápidamente durante la bajamar, al quedar al descubierto y sometidas al aire y al sol,

sobre todo si aquéllos segregan alguna sustancia mucosa, como ocurre en algunos gusanos; luego, la arena, rellenando estos huecos, reproduce con fidelidad el rastro por aquéllos creado, formando un molde duro e indeleble. Esta ley de la posición respectiva de los relieves en la cara inferior y de los huecos en la superior de los bancos duros no es, sin embargo, aplicable a toda clase de huellas. Existen algunas de éstas en relieve que parecen haberse producido en la cara superior y que se interpretan entonces como residuos de la comida o de los excrementos de diversos animales dejados por éstos en la superficie de la playa. A veces, también quedan pegadas a la cara superior de un banco de margas porciones de los moldes de la molasa que la recubre, o al revés, la marga queda soldada a la molasa que forma su techo. Sin embargo, lo más corriente es que se confirme la observación, repetidas veces verificada, de que la cara inferior de los bancos duros muestre el "contramolde" de las huellas creadas en la cara superior de la capa de marga que está en contacto con ella. Existen otros medios de reconocer la posición tectónica de los estratos, sobre los que diremos algo en nuestro trabajo, ya indicado, sobre el flysch numulítico.

El nombre de flysch, limitado al principio a designar la facies que lo caracteriza en los terrenos cretácicos y terciarios de los Alpes, se va generalizando cada vez más, no sólo aplicado a los sedimentos de igual aspecto y edad de otros países, sino también de otros períodos geológicos. Existen, en efecto, series sedimentarias de facies flysch desde los más remotos tiempos de la historia de la Tierra. Basta recordar, por ejemplo, el cámbrico inferior (georgiense) de León (Genestosa), con una alternancia perfecta de bancos de caliza rosa con otros de margas también rosa, que de no hallarse en inmediato contacto y debajo de las pizarras acadienses con *Solenopleura riberoi*, *Peronopsis*, etc., con lo que muestran una

cierta semejanza con la serie caliza danense, podrían suponerse de edad muy superior; o bien el devónico de León y Asturias, con su alternancia de areniscas y margas; el liásico de Calatorao, de Gijón, con el cambio regular de calizas y margas, etcétera. Asimismo, en el carbonífero podríamos considerar como flysch algunos tramos pizarrosos en donde se aprecia esta alternancia. Sin embargo, en todas estas series estratigráficas, que muestran ciclos de sedimentación semejantes unos a otros, falta la abundancia de pistas tan característica del flysch cretáceo-terciario inferior. Este flysch forma una serie tan regular e idéntica a sí misma en sus diversos niveles que es imposible distinguirlos a no ser que se encuentren al mismo tiempo los fósiles característicos que los diferencian. Se comprenden las dudas de Azpeitia, repetidamente expuestas a lo largo de su trabajo, y su indecisión en atribuir la edad eocena o cretácea a varias de las pistas por él estudiadas. En realidad, el cretáceo superior y el eoceno inferior de Guipúzcoa no se podrían separar valiéndose de las pistas, antes bien, quedarían sin deslindar en muchos sitios, ya que éstas aparecen idénticas, así como también la composición del terreno que los constituye. Por suerte no son raros los inoceramos y varios otros fósiles en el cretáceo, y los numulites, entre muchos otros foraminíferos, en el eoceno, para poder distinguir ambas clases de flysch. Como ejemplo de lo que decimos, basta visitar la cantera del flysch que se encuentra detrás de la Fábrica del Gas en San Sebastián, con inoceramos y equinoideos cretáceos, y la costa entre Zarauz y Zumaya, cuyos terrenos, sobre todo entre Guetaria y Zumaya, contienen numulites. Su semejanza es absoluta en cuanto a facies y pistas, lo que haría imposible su distinción si no fuera por sus fósiles característicos.

Un importante medio de separar los dos niveles de flysch ha sido dado ya por J. Mendizábal (15). Existe un tramo de

caliza rosa, variable de espesor, que corona la formación cretácea de Guipúzcoa y que se sigue, con algunas interrupciones, desde Fuenterrabía hasta Zumaya, el cual separa los horizontes superiores cretáceos de los inferiores del eoceno numulítico. Este tramo de calizas rosadas, que varía de color, tornándose gris, y que en algunos puntos llega a tener un espesor considerable (cantera de Herrera, cantera de Barrenechea en Igara-San Sebastián, Zumaya), contiene escasos fósiles (hasta ahora sólo hemos encontrado equinoideos—*Ananchites*?—y globigerinas por estudiar todavía); en cambio, muchas de sus capas aparecen atravesadas en distintas direcciones por tubos cilíndricos rellenos de calcita, producidos por el paso de animales, probablemente de gusanos, y que llevan la denominación general de "fucoides", apelativo que se aplica también a muchas otras pistas del flysch.

El tramo de caliza rosa pertenece, según J. Mendizábal, al período danés. Aunque, como veremos en otro trabajo, su posición estratigráfica muestra también afinidades con el eoceno, es, sin embargo, como aquel autor dice, un guía excelente para separar los terrenos cretáceo y eoceno, entre los cuales se intercala.

En cuanto a los límites inferior y superior de la facies flysch cretáceo-terciaria, en nuestra región quedan definidos como sigue: hacia arriba, los tramos inferiores de la formación numulítica, que a juzgar por los fósiles, sobre todo por los numulites, es ipresiense, muestran una bien desarrollada facies flysch, seguida por una potente serie de molasas en gruesos bancos, que al meteorizarse y descalcificarse se tornan en areniscas amarillentas. Por la parte interior, el límite del flysch es, prácticamente, indefinible. La alternancia de materiales duros y blandos desaparece poco a poco y quedan los tramos de margas de constitución uniforme, que sólo la alteración atmosférica delata como formando distintas capas. Correla-

tivamente a este cambio de facies, las pistas se extinguen también, y únicamente se encuentran escasos *chondrites*, como los más antiguos representantes del grupo icnológico, que más tarde tan gran desarrollo toma. Por debajo de los niveles de *chondrites* sigue un flysch estéril en gran espesor, y por último aparecen en él orbitolinas, indicando que sus capas pertenecen ya a los tramos superiores del infracretáceo, las que a su vez terminan en inmediato contacto con las calizas urgoaptienses. En nuestra región, en la zona por nosotros estudiada, el flysch de pistas queda limitado, como vemos, al cretáceo superior y al eoceno. Este último es, desde luego, el tramo final con el que se termina la serie sedimentaria en Guipúzcoa; pero en otras regiones (por ejemplo, cerca de Pamplona) el flysch llega a niveles más altos del terciario.

II.—REVISION DE LAS PISTAS

Para la revisión de las pistas del flysch guipuzcoano nos servirá de guía la obra de Azpeitia. Sus excelentes grabados nos ahorran la reproducción aquí de las estudiadas por este autor, por lo que remitimos al lector a aquélla, a fin de que pueda cotejar cuanto hemos de decir. Agregamos, además, las fotos de algunas otras pistas por nosotros recogidas, así como varios grabados tomados de las obras de Abel (1) y de Richter (22, 24). El orden y posición de las figuras originales han sido alterados por la necesidad de ajustar su colocación en las láminas fototípicas.

1. *Scolicia prisca* Quatrefages (Azpeitia, op. cit., pág. 9, figuras 22 y 25).

El célebre naturalista francés A. de Quatrefages, bien conocido por sus trabajos de Zoología y de Antropología, viajero infatigable, visitó Guipúzcoa a mediados del pasado siglo,

y durante su excursión científica por nuestra provincia tuvo ocasión de observar cerca de la iglesia de la Antigua "impresiones de un anélido de gran talla". Dice este autor (17): "A pesar de que no se distingue ni la cabeza ni la cola y de que, por consiguiente, este anélido está lejos de ser entero, sus revueltas representan una longitud de cerca de 2,20 metros" (traducción de Azpeitia, loc. cit., pág. 11).

Quatrefages continúa con la descripción detallada del cuerpo de este anélido, en el que distingue "pliegues del cuerpo", "tabiques interanulares", "el intestino, que está libre y reina en toda la extensión del cuerpo", y acaba su descripción suponiendo que el nuevo gusano fósil, que "pertenece a la gran formación cretácea de los Pirineos", se aproxima, por sus caracteres, a los "anélidos errantes actuales". Hasta aquí Quatrefages.

La *Scolicia prisca*, descrita y publicada por Quatrefages en 1849, pasó bien pronto a la literatura paleontológica, y así figura en el famoso tratado de Paleontología de Pictet, en la edición de 1854. Pero poco tiempo después surgieron dudas sobre el verdadero significado de ésta y de otras impresiones fósiles, y así Zittel, en 1883, y otros, la llevan al grupo de los *Problematica*, sin atreverse a darle interpretación alguna. Desde entonces se ha venido considerando la *Scolicia* como la pista de un animal, aunque sin decir cuál pudiera haber sido éste.

Azpeitia, en la minuciosa descripción que hace del ejemplar que reproducen sus figuras 22 y 25, recogido a kilómetro y medio de Zumaya (si bien no dice en dónde y en qué clase de terreno, si cretáceo o eoceno), anota la semejanza que muestra esta pista con la dejada por los *nereites* paleozoicos, impresiones producidas, según los distintos autores, por gusanos, moluscos o crustáceos. Más adelante, Azpeitia describe el ejemplar de Zumaya y señala diversas particularidades que

le llevan a confirmar que el animal que ha creado estas pistas no sólo se ha deslizado por la superficie de un suelo compuesto de una pasta blanda y plástica, sino que a veces gustaba de caminar subterráneamente. En un ejemplar recogido por el Sr. Hernández Sampelayo entre San Sebastián y Zarauz (figura 25 de Azpeitia) aparece el molde de un gasterópodo mal deslindado, que, según el autor, pudiera ser de *Paludina*, en el caso de admitir que la formación sea de agua dulce, o de *Natica*, si fuera de origen marino. Hace bien Azpeitia en destacar que hasta entonces no se había citado la presencia de conchas de gasterópodos en estos bancos del flysch, porque, como veremos en seguida, su sospecha de que este gasterópodo haya sido el agente productor de las huellas, encuentra confirmación en las observaciones de Abel, que ofrecen la solución a este enigma y confirman así la idea de Bernard (3), quien en 1895 destaca la analogía que muestran los *nereites* con las huellas producidas por los gastrópodos, sobre todo por la *Purpura lapillus*, arrastrándose por el lodo blando. Azpeitia, advirtiendo que un gastrópodo de concha voluminosa no penetra con facilidad en el interior del fango, supone que bien podría ser un molusco desnudo el agente de la pista llamada *Scolicia*. Por último, este autor anota la observación por él hecha durante la bajamar de una marea viva en una playa de Santander del pequeño gastrópodo *Cyclops neriteum* L., que caminaba rápidamente a poca profundidad de la superficie creando galerías en su interior, las cuales se deshacían en seguida por ser la arena muy fina y suelta. Azpeitia supone que si esta playa, "en lugar de componerse de elementos disgregados y sin cohesión, hubiese estado dotada de cierta plasticidad, podía haberse obtenido una pista o huella más o menos próxima a la enigmática *Scolicia*".

Nuestras observaciones, hechas en unión de R. de Gaona en las playas de Orio y Zumaya, confirman las de Azpeitia.

Hemos visto cómo los pequeños *trochus* caminaban rápidamente por la arena, dejando tras sí un rastro semejante al de la *Bullia*, que estudiamos a continuación.

EL RASTRO DE LA "BULLIA RHODOSTOMA" GRAY, DE AFRICA DEL SUR, SEGÚN LAS OBSERVACIONES DE O. ABEL

Hasta la publicación de las observaciones de O. Abel (1) hechas en las playas de Africa del Sur durante el año 1929, la *Scolicia* continuaba siendo una pista enigmática, que recibía diferentes nombres según el país propio de los autores que de ella se ocupaban. Primeramente considerada como la impresión de una serpiente por Stifft, en 1807, que admitía así la creencia popular de las "serpientes petrificadas", pasó luego a ser un gusano fósil con Quatrefages, en 1849, y en 1880 a un alga con Schimper, Nicholson, etc., para quedar, en general, como la huella hipotética de un gusano, de un molusco o de un crustáceo, hasta que Abel ha podido demostrar de modo evidente que se trata de la pista de un molusco gastrópodo, acaso el mismo conocido actualmente con el nombre de *Bullia rhodostoma* Gray. Esta especie vive actualmente en un área geográfica bastante extensa, pero dentro del hemisferio meridional, desde Patagonia hasta Madagascar y Africa del Sur. Según Abel, el mayor desarrollo del género se encuentra en esta última región, ya que ofrece numerosas especies diferentes. De las doce hasta ahora distinguidas, la más frecuente a su vez en las playas es la *rhodostoma*, que durante la bajamar se encuentra en enormes cantidades. La *Bullia* pertenece a la familia de las *Nassas*; su nombre, casi el mismo que el de las *Bulla*, de forma distinta e incluso de familia y de orden también distintos, puede dar lugar a confusiones, frecuentes, por desgracia, en la nomenclatura zoológica, siem-

pre en continua remoción de nombres de géneros y especies. Abel ha podido estudiar la vida de las *bullias* durante varios días en las playas del Africa del Sur en el verano de 1929. Reproducimos aquí un dibujo esquemático de la *Bullia laevis-sima* Lamark (fig. 1) y dos fotografías de las tomadas por Abel de las huellas dejadas por la *B. rhodostoma* (fig. 2), así

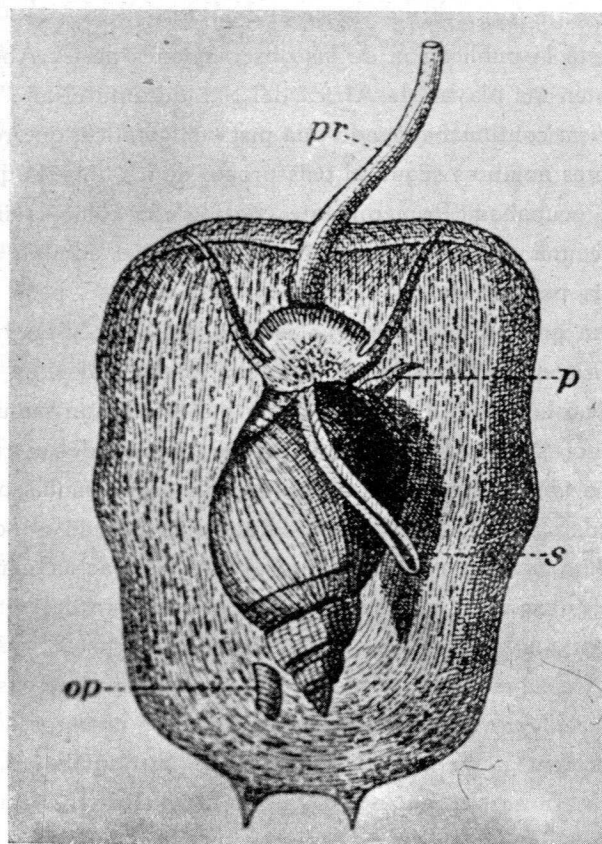


FIG. 1.—*Bullia laevis-sima* Lamk, especie viviente del Africa del Sur; *op*, opérculo; *p*, órgano copulador; *pr*, proboscis; *s*, sifón. Obsérvese la enorme extensión del pie, muy superior a la de la concha, y las puntas de su borde posterior. (Según Simroth, en Abel.)

como resumimos también las observaciones de este autor. La *bullia* llama en seguida la atención por lo desmesurado de su pie y por la curiosa forma que éste muestra; la figura 1 deja ver las dos puntas en que se termina por la parte posterior. La concha queda en medio de la ancha superficie del pie, cuando el animal se desplaza, como un apéndice minúsculo. Una propiedad curiosa de las *bullias* es que son ciegas en absoluto, lo que, según Abel, demuestra que no se pueden considerar como animales que viven en la superficie más que

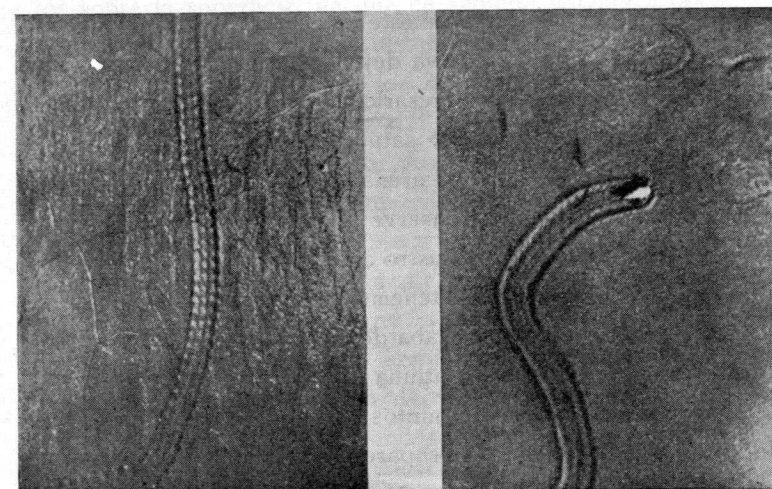


FIG. 2.—Dos ejemplos de pistas de la *Bullia rhodostoma* Gray hechas por este gastrópodo marino en la playa de Muizenberg, El Cabo, Africa del Sur. En la foto de la derecha se observa la desproporción entre el tamaño de la concha y la anchura de la pista. (De Abel.)

ocasionalmente, en tanto que la mayor parte de su vida la pasan enterradas en la arena; pero como especializadas, lo mismo que las *nasas*, en alimentarse de carroña, sobre todo de medusas, en cuanto perciben el olor de aquélla salen a la superficie y se dirigen con rapidez al lugar en donde encuentran su presa, penetrando a continuación en el interior de ésta,

que devoran en breve tiempo. Según Abel, los movimientos de la *bullia* son tan rápidos que apenas habrá otro gastrópodo que la supere en velocidad de reptación por la arena húmeda. El término medio del desplazamiento es de unos 14 milímetros por segundo, esto es, unos 84 centímetros por minuto. Las contracciones del pie durante la marcha van creando un relieve típico en la arena, en la que aparecen los hasta ahora inexplicables resaltos transversales trifurcados y la curiosa forma de cordón estriado que queda en el centro, la cual era para Quatrefages el intestino fosilizado del gigantesco gusano por él imaginado. La forma de este pie, sus diversos movimientos, complican la figura que va dejando en la arena; para que tal modelado se forme es necesario que la arena esté húmeda, con un determinado grado de saturación. Depende, en efecto, del grado de humedad de la arena el que la figura tome una u otra forma, que ésta se conserve o se desmorone. (Un ejemplo del aspecto que toma el rastro de un animal según el grado de humedad de la arena lo tenemos en la lámina I, figura 3. Un cangrejo (*Corophium*) acaba de pasar por el suelo fangoso de la marisma. La línea continua en la parte húmeda se va resolviendo en una serie de puntos en la parte que va perdiendo la humedad, hasta que desaparece por completo en la parte seca del todo.)

El pie de la *Bullia* segrega de continuo una abundante mucosidad por todo su cuerpo, gracias a lo cual los granos de la arena se aglutinan, impidiéndose que se deshaga el relieve creado por su paso y facilitando su conservación. Luego, el aire que viene de tierra arrastra un polvo arcilloso, fino y seco, que recubre la playa y fosiliza la huella. Pero si la pista queda al descubierto, sin protección alguna, y vuelve la marea a invadir la playa, es destruida en seguida, y lo mismo ocurre si el viento terral no aporta el polvo arcilloso protector.

Las *bullias* marchan de muy distintos modos, ora en línea

recta hasta su presa, ora trazando caprichosas curvas, espirales unas veces, como indicando que poseen una manifiesta tigmotaxia (ver pág. 38), irregulares otras. Además del sentido del olfato, que reemplaza al de la vista, poseen muy aguzado el del tacto, y al menor choque con un objeto sospechoso huyen y se hunden a toda prisa en la arena. Abel ha llegado a observar, no obstante, pistas de hasta cinco metros de largo, si bien, por lo común, no pasaban de 10 a 20 centímetros. Este autor supone que la conmoción producida en el suelo por sus pisadas era la causa de que las *bullias* trazaran tan cortos trayectos sobre la superficie, ya que en seguida volvían a ocultarse en la arena; en cambio, las pistas largas aparecían ya hechas antes de aproximarse él a los sitios donde se hallaban. La anchura de la pista depende del tamaño del individuo que la traza; la máxima medida por Abel ha sido de 50 milímetros.

Las *bullias* se hunden muy de prisa en la playa húmeda rodeando la concha con el pie y moviendo éste de modo que primero descienden verticalmente y luego toman otra distinta dirección, impuesta por el grado de dificultad que les opone la arena. Al mismo tiempo arrojan un chorro de agua, que llega a alcanzar una altura de 40 centímetros y que forma en el lugar en donde el animal desaparece una depresión circular embudiforme. Si se camina despacio por una zona de la playa abundante en *bullias* escondidas en la arena se verán salir los pequeños surtidores de agua arrojados por ellas desde el interior de la arena. Si se extrae una *bullia* del lugar donde se ha ocultado, arroja primero el chorro de agua y luego, recogiendo el pie por completo dentro de la concha, cierra ésta con el opérculo córneo de que se halla provista.

Hasta aquí el breve resumen de las observaciones hechas por Abel en las *bullias* vivientes de Africa del Sur.

LAS PISTAS FÓSILES DE "BULLIAS" EN LA ARENISCA EOCENA DE VIENA Y EN EL FLYSCH CRETÁCEO-EOCENO DE GUIPÚZCOA

No lejos de Viena, en Greifenstein, junto al Danubio, existe una cantera de piedras de afilar conocida desde largo tiempo y en donde eran frecuentes las "serpientes fosilizadas". Bien pronto llamaron éstas la atención de los geólogos, que trataron de interpretar tales impresiones de las más distintas maneras. Entre los últimos trabajos que se ocupan del estudio detallado de las pistas de Greifenstein se cuentan los de Göttinger y Becker (9, 10). Abel, recogiendo los resultados obtenidos por estos autores y los suyos propios, supone que las huellas fósiles del flysch eoceno llamadas "serpientes fósiles" son producidas de modo idéntico al observado en la *bullia* actual. Se reconocen diversos tipos de pistas, unas trazadas en la superficie, otras en el interior; pero todas son referibles a las producidas por la *B. rhodostoma* o por la *laevissima*. El análisis cuidadoso de las distintas clases de pistas hace ver que la *bullia* fósil, hasta ahora no hallada en la realidad, se ha deslizado unas veces largo tiempo por la superficie de la playa, lo mismo cuando ésta aparecía llena de fango que cuando quedaba la arena al descubierto; pero otras penetraba en el interior de las capas de este último material, y entonces daba lugar a distintos tipos de galerías, que bien formaba casi en inmediato contacto con el fango infrayacente, bien más al interior de la capa de arena. En el primer caso se producía una protuberancia o saliente en la cara inferior de la capa de arena, mientras que en el segundo caso no se acusaba el paso del molusco.

De esta manera resulta que los relieves flexuosos de la cara inferior de los bancos de arenisca tienen dos orígenes,

si bien todos ellos producidos por las *bullias* fósiles: en un caso son el relleno, el contramolde, de la pista en hueco producida por el animal al arrastrarse por la superficie de la capa de fango que luego se convirtió en marga arcillosa, situada inmediatamente debajo; en otro caso son los abultamientos producidos por la *bullia* en la cara inferior de la capa de arena, muy cerca de su contacto con la de fango inferior a ella, al excavar sus galerías paralelamente a esta superficie de contacto entre las dos capas. En este último caso, el animal descendería por la arena, y al notar la proximidad del fango retrocedería caminando algún tiempo cerca de la capa límite de la arena. Abel demuestra que ha debido de ser así, aduciendo diversas muestras tomadas de las canteras de Greifenstein. Ejemplos semejantes nos ofrecen, sobre todo, las margas de inoceramos del flysch del cretáceo superior de Zumaya, en el kilómetro 38 de la carretera de San Sebastián a Deva.

Aunque es regla general que las pistas de *bullia* en hueco se encuentren en la cara superior (Lám. II, fig. 4) y las en relieve en la inferior (Lám. II, fig. 5) de los bancos de areniscas o maciños, existen excepciones que por lo general resultan debidas a que unas veces queda pegado el contramolde de la cara inferior de la arenisca a la marga arcillosa y otras al revés, a que ésta se mantiene adherida a la arenisca y borra así los relieves propios de la cara inferior de la última. La observación de las caras inferior y superior de los bancos duros del flysch y de las huellas producidas en ellas por el paso de las *bullias* fósiles constituye uno de los medios más seguros para la determinación de la posición tectónica que tienen sus capas cuando están muy dislocadas.

La sospecha de Azpeitia, que insinúa la posibilidad de que las *scolicias* hayan sido creadas por gasterópodos, encuentra plena confirmación en las observaciones de Abel. Debemos destacar aquí el mérito de nuestro compatriota, que contribuye



así de modo decisivo al esclarecimiento de un problema paleobiológico de tanto interés.

El autor austriaco no se decide por admitir la distinción hecha por sus colegas Götzinger y Becker, quienes proponen el nombre de *Palaeobullia* para las pistas en hueco de *bullia* conservadas en la cara superior de las capas, y el de *Subphyllochorda* para las pistas en relieve de la cara inferior. Por nuestra parte, dada la generalización del nombre *Scolicia* en la literatura paleontológica española, creemos que debe conservarse este nombre para la pista en hueco de la *bullia* impresa en la cara superior de los bancos, y dejar el de *Subphyllochorda* para designar la pista en relieve de la cara inferior de éstos producida por el mismo animal.

2. *Lorenzina apenninica* De Gabelli (Azpeitia, op. cit., página 18, fig. 7; Gómez Lluca (8).

En el flysch numulítico de los Apeninos encontró De Gabelli a mediados del pasado siglo unos contramoldes en relieve, radiados, que suponía originados por el cuerpo de una hidromedusa, a la que dió el nombre de *Lorenzina*. Más tarde, este fósil ha sido encontrado en distintos puntos, señalándose, entre otros, en Alicante y en Zarauz. Azpeitia hace la historia de los ejemplares de Alicante y describe los representados en la nota de G. Lluca. Aunque Azpeitia, según declara, no rechaza la posibilidad de que sea la impronta de una hidromedusa, expone a continuación los argumentos que le hacen dudar de la exactitud de la atribución de esta huella y resume parte del artículo publicado por nuestra parte (7), del cual se deduce que la *lorenzina* es, muy probablemente, la impresión del extremo superior de un gusano tubícola que ha inclinado su cabeza en distintas direcciones, al extremo superior del agujero en que vive. Abel (1) no se detiene en el estudio de la *lorenzina*, que ni siquiera cita, si bien reproduce

la fotografía de Hummel, que figura en nuestro trabajo antes aludido, y se decide por suponer que estas huellas han sido creadas, en su mayor parte, por crustáceos pequeños, aunque no excluye la posibilidad de que fueran originadas por gusanos. Para Abel, muchas de estas huellas estelares o asteroides fósiles han debido ser hechas por especies afines al cangrejo de mar común (*Carcinus maenas*, crustáceo braquiuro) o al del fango (*Corophium voluvisor*, crustáceo anfípodo). Los individuos de estas especies fósiles habitaban tubos verticales excavados en las playas, en los cuales se mantenían ocultos. Los crustáceos (según Abel) buscaban su alimento en la materia orgánica contenida en el fango, royendo la capa superficial cubierta de algas, a partir del orificio de salida. De esta manera se han ido creando pequeños canales radiales, de distinta longitud, que luego han sido rellenos por la arena, con lo que ha quedado así la figura de aquéllos como contramolde de la cara inferior de los bancos de maciño. Para otros autores, por último, estos relieves radiales son excrementos depositados por un gusano tubícola que vivía en una galería vertical en el centro del círculo descrito por aquéllos.

Por el momento es difícil decidirse por una u otra de las interpretaciones de la *lorenzina* aquí expuestas (impresión de la porción cefálica de un gusano arenícola sobre la arena alrededor del agujero vertical en el que vive; huellas de roedura de la capa superficial del fango por crustáceos o gusanos; acumulación radial de los excrementos de gusanos). Si observamos una *lorenzina* veremos que los lomos radiales que la forman tienen todos sus bordes internos más o menos equidistantes del centro y que limitan una superficie plana circular. Estos radios parecen alternar en longitud, siendo ésta desigual en conjunto; pero, en cambio, muestran una cierta constancia en su espesor y en el espacio que dejan entre sí. No concuerdan mucho las figuras de estas *lorenzinas* con las

que ofrecen las estrellas producidas por los *Corophium*, *Scopimera* o *Dotilla*, crustáceos que pastan en la superficie de la playa cubierta de plancton. La huella del *Corophium voluvisor*, pequeño cangrejo actual de las marismas del mar del Norte, muestra los radios bifurcados en su extremo, lo que corresponde a la impresión de las antenas. La semejanza de esta huella con la de la *Spongia Ottoi* Geinitz de la arenisca cenomanense de Sajonia es evidente, y de esta manera, la supuesta esponja, descrita por Geinitz en 1850, pasa a ser la huella de un crustáceo. En cambio, la *lorenzina* parece semejar más a la impresión dejada por la cabeza de un gusano tubícola que la ha inclinado en distintas direcciones, aunque en este caso es enigmático todavía el espacio tan regular que queda entre los relieves radiales. Aunque, como ya nota Azpeitia, falta en la *lorenzina* el botón central que debía corresponder al agujero del tubo vertical, esta dificultad desaparece si se recuerda la facilidad con que se desmoronan las tenues impresiones hechas por los pequeños organismos en la arena húmeda, lo que explica también por qué los radios de la supuesta impresión de hidromedusa están borrados desde el centro hasta una distancia igual o subigual para todos y en su lugar aparece una superficie llana, circular. Es posible que esta superficie, de radio variable según las distintas *lorenzinas* observadas, se haya producido por el desmoronamiento de la parte superior del embudo formado en el extremo del agujero en que vivía el gusano, lo cual se ha realizado de modo simétrico en todas direcciones. En todo caso, la *lorenzina*, que se destaca en relieve como contrahuella en la cara inferior de los bancos duros, acompañando a los palaeodictyons, helminthoides, etc., de que pronto hablaremos, y a las *scolicias*, ya comentadas, ha debido ser producida por un organismo que vivía en un agujero vertical y que movía la porción superior de su cuerpo en sentido radial.

3. *Pistas de crustáceos.*

Azpeitia, en la página 24 de su obra comenta una pista del flysch eoceno entre Zumaya y Guetaria, reproducida en su figura 33, suponiéndola originada por un crustáceo, si bien sin darle seguridad a esta hipótesis. Por nuestra parte, hemos encontrado una huella semejante en la desembocadura de la ría de Pasajes, que describiremos brevemente: sobre la superficie de la cara inferior de un banco de arenisca aparecen unas protuberancias ordenadas en dos líneas paralelas y flexuosas, que están alternadamente dispuestas, como se ve en la lámina V, fig. 8. La altura de estas protuberancias es de unos tres milímetros; la distancia entre las dos líneas o hileras de ellas, de unos trece a catorce. La longitud total de la pista es de 70 centímetros. Junto a la pista principal aparece todavía un trozo más pequeño de otra igual, acaso formando parte de la primera.

Abel resume en su obra los descubrimientos hechos por O. Schmidtgen en la arenisca roja del pérmico de Nierstein, en el valle del Rin. Existen en este terreno, que se supone formado en un desierto de aquella remota época, una multitud de huellas, bien conservadas, que Schmidtgen ha sabido interpretar con sagacidad y acierto. El análisis de cada una de estas pistas ha conducido a este autor a suponerlas el rastro de insectos, entre los cuales distingue unos que pueden haber sido semejantes a los actuales *Dytiscus* (coleópteros acuáticos) y otros a las cucarachas o a los *Mantis*. La comparación de la pista de Pasajes con las presentadas por Schmidtgen nos hace admitir un parecido grande entre aquella y la producida por el *Ichnium strubi* Schm. (Lám. III, fig. 9). Falta, sin embargo, en la pista de Pasajes la serie de finas impresiones en forma de V que se debían notar entre las protuberancias laterales; pero en otra figura de este mismo autor tampoco aparecen tales impresiones, aunque la pista es también referida al mismo *Ichnium strubi*. Schmidtgen, estudiando las impresiones dejadas en el

suelo de arena fina por los insectos actuales, supone que las del *Ichnium strubi* podrían haber sido producidas por un insecto del grupo de los mántidos.

No insistimos más sobre este tema, ya que la pista conservada en la molasa meteorizada de Pasajes no contiene más detalles ni tampoco la huella reproducida por Azpeitia en su figura 33 permite reconocerlos. No obstante, es posible que se trate, tanto en uno como en otro caso, de la pista fosilizada de un artrópodo grande, que por casualidad se vió obligado a recorrer la superficie de la playa cuando ésta se hallaba cubierta de fango. Esta pista es acaso la menos frecuente de todas las del flysch guipuzcoano; hasta ahora sólo conocemos la encontrada por Azpeitia y las halladas por nosotros en Pasajes y en la punta de Mariantón (Zumaya).

4. *Palaeodictyon*.

Azpeitia, págs. 27 a 44, figs. 9, 12, 13, 14, 15 A, 18, 19, 20.

Junto con los *chondrites*, que más adelante estudiaremos, los *palaeodictyon* se cuentan entre los fósiles más discutidos del flysch. Estas redes, muchas de ellas perfectas, constituidas por una agrupación extensa de hexágonos regulares, o por lo menos de ángulo invariable de 60 grados, de lados finos o gruesos en relieve, que aparecen con bastante frecuencia en la cara inferior de los bancos duros, lo mismo del flysch su-pracretácico que del eocénico, han sido considerados hasta ahora como los representantes fósiles de las algas de agua dulce conocidas bajo el nombre de *Hydrodictyon reticulatum* L. (especie creada por Linneo en 1759), que se hallan bastante repartidas por distintos puntos de la Península. En Castilla se las llama "telarañas de agua", según me comunica por carta el profesor P. González Guerrero, del Jardín Botánico de Madrid, especialista en algas de agua dulce. Azpeitia, en su discurso de ingreso en la Academia de Ciencias, decía

en 1922 que el *Palaeodictyon* "es el antecesor indudable del *Hydrodictyon reticulatum* L."

De aquí que Azpeitia nos describa con el mayor cuidado las distintas especies que él reconoce existentes en el flysch guipuzcoano:

P. minutum Kindelán; *P. Strozzi* Meneghini; *P. majus* Meneghini; *P. majus* var. *minor*; *P. giganteum* Peruzzi; *P. Gomezi* Azpeitia, n. sp.

El género *Palaeodictyon* fué creado por Meneghini hacia 1850.

He aquí las dimensiones de las distintas especies según la longitud del lado del hexágono correspondiente:

P. minutum, 0,91 milímetro.

P. Strozzi, 2 a 2,5 milímetros.

P. majus, 3 a 5 milímetros.

P. giganteum, 5 a 6 milímetros.

P. Gomezi, 33 milímetros.

Unos son de lados que forman aristas salientes y finas, como el *majus* y el *Gomezi*; otros, de aristas gruesas, como los restantes. Sobre todo, el *P. giganteum* figurado por Azpeitia constituye una malla de gruesos elementos. En el flysch guipuzcoano aparecen todos ellos, y a veces varios individuos de estas supuestas distintas especies, unos junto a otros. Kindelán, en 1919, crea el *P. minutum*; Azpeitia, en 1932, el *P. Gomezi*, dedicado al autor de estas líneas, que lo encontró en 1929 en el flysch eoceno encima del segundo túnel de la carretera entre Zarauz y Guetaria. Azpeitia reproduce otro *palaeodictyon* de Bédar (Almería).

Actualmente, el *Palaeodictyon* tampoco se considera como un fósil definido ni menos referible a un alga. No es, según distintos investigadores, el antecesor de los *Hydrodictyon* potámicos, sino únicamente una huella más del flysch, si bien su interpretación varía mucho de un autor a otro. Aunque los

palaeodictyon parecen presentarse con mayor frecuencia en el flysch cretáceo-eoceno, se han hallado también en niveles muy distantes de esta serie, desde el lías hasta el mioceno (Abel, 1, pág. 23). Las discusiones sobre esta curiosa impresión han dado origen a una nutrida literatura desde que Meneghini describiera los primeros *palaeodictyon* de Italia. La opinión más generalmente admitida es la de suponer que las mallas tan perfectas formadas por la asociación de hexágonos, por excepción irregulares, y más excepcionalmente aún por polígonos de menor número de lados (Lám. III, fig. 10), se han formado por la desecación de las frezas, huevas o puestas de huevos de gasterópodos marinos. Los distintos elementos de una freza al contraerse unos contra otros forman estas figuras hexagonales, de la misma manera que se observa en otros casos semejantes de este fenómeno mecánico tan común en la Naturaleza (contracción y disyunción del basalto en prismas de base casi siempre hexagonal, pompas de jabón, etc., y hasta, en cierto modo, los panales de las abejas y avispa, etc.).

Por mi parte, he tenido ocasión de ver distintos *palaeodictyon* en las colecciones del Museo Senckenberg, de Frankfurt del Main, que no sólo muestran su red hexagonal extendida en la superficie de la roca, sino que penetran en el interior, como formando fragmentos de prismas hexagonales.

El examen de las figuras de Azpeitia, por ejemplo, hace ver que no existe razón alguna para distinguir tantas especies y que la longitud del lado del hexágono del *palaeodictyon* varía bastante dentro de cada especie, lo mismo que su grueso. Es posible que cada uno de estos *palaeodictyon* corresponda a una determinada especie de freza o hueva, pero también parece probable que esta diversidad de malla sea debida al distinto grado de consistencia, de hidratación o deshidratación, de compresión o distensión en que se hallaba la hueva en el momento de quedar enterrada en el fango, así como a la

diagénesis posterior de éste. Menos satisfactoria es la hipótesis de que los *palaeodictyon* sean las frezas fosilizadas si se examina el *P. Gomezi*. Esta especie, cuya magnitud supera con mucho a la del *P. giganteum*, muestra su malla formada por hexágonos de ángulo constante de 60 grados, pero de lados muy variables, lo que hace menos comprensible la idea de que proceda de la contracción de una masa orgánica, ya que ésta parece que habría de tomar forma de hexágonos de lados de igual longitud, aunque unas veces fueran rectos, otras deformados. Si bien la figura 20 de Azpeitia muestra algunos retoques, se ve que los hexágonos del *P. Gomezi*, de finos lados rectos, no todos iguales, y de ángulos limpios, parecen mostrar una excepción frente a los de las restantes especies, de mallas más toscas que, en cambio, están formadas por hexágonos regulares, de lados de igual longitud.

Hasta ahora no se ha podido encontrar una huella semejante a la del *palaeodictyon* en las playas actuales, aunque Abel no deja de notar la circunstancia de que la freza de la *Littorina* está formada por huevos de contorno hexagonal. La cuestión de su origen queda, pues, sin decidir en espera de una prueba más convincente.

5. *Cylindrites submontanus* Azpeitia, n. sp.

Azpeitia, pág. 44, fig. 21 B.

El examen de la figura nos hace ver que se trata de un *palaeodictyon* de mallas desgarradas, y no, como supone Azpeitia, de un alga, si bien el mismo autor, al describir la especie siguiente, duda de su atribución y admite que acaso pudiera ser "la pista o huella de un incógnito animal".

6. *Helminthopsis sinuosa* Azpeitia, n. sp.

Azpeitia, pág. 45, fig. 24 B.

Esta especie, formada por relieves culebreantes, la con-

sidera Azpeitia como afín a la *H. labyrinthica* Heer. Este último la suponía un alga. Como acabamos de decir, nuestro autor español duda de que sea un vegetal fósil y deja para sus sucesores el decidir sobre su verdadero significado. Actualmente se consideran estas figuras culebreantes como el contramolde de la pista dejada por gusanos y reciben el nombre de *Spiroraphe* (Abel, 1, pág. 291).

7. *Helminthopsis* ? *concentrica* Azp., n. sp.

Azpeitia, pág. 46, fig. 23.

Esta contrahuella consiste en una serie de cordones concéntricos irregulares, interrumpidos a menudo. El ejemplar de la figura 23 de Azpeitia consta de nueve o diez círculos separados entre sí por espacios de un centímetro de ancho. De la explicación de las figuras 263 y 264 de Abel, idéntica a la de Azpeitia, se deduce que aquel autor supone tal pista creada por el paso de un gusano, todavía incógnito.

8. *Helicolithus* n. gen. Azp., *H. Sampelayoi* n. s. Azp., *H. Fabregae* n. sp., Azp.

Azpeitia, págs. 48 a 54, figs. 10, 11, 21 A y 24 A.

Son parecidas estas impresiones a las de la *Helminthopsis sinuosa*, pero en vez de estar en un plano forman una hélice o sacacorchos. Tras diversas consideraciones sobre organismos de aspecto parecido y luego de una detallada descripción de las especies, Azpeitia trata de clasificar estos organismos y recuerda que algunas hidromedusas, como la *Physalia*, poseen en su flotador filamentos pescadores en forma de hélice; pero al cabo de algunas reflexiones se decide por suponer su naturaleza vegetal, ya que recuerda que las medusas son seres tan delicados que apenas dejan impresión de su cuerpo. En cambio, admite que el *Helicolithus Sampelayoi* podría considerarse como el antecesor gigantesco de la *Spirulina*, alga viviente de agua dulce.

En las distintas publicaciones que tenemos a la vista no existe un tipo de pista que se parezca algo a estas curiosas formas descritas por Azpeitia. Acaso pudieran ser originadas por el paso de gusanos (nematelmintos?), dada la finura de la hélice que describen, probablemente afines al *Spiroraphe*.

9. *Münsteria bicornis* Heer.

Azpeitia, pág. 54, figs. 29, 30 y 31.

Las inflexiones y espirales que forma esta pista en relieve recuerdan las originadas por las *Bullia* en la cara inferior de los bancos duros. Es probable que las *münsterias* hayan sido producidas por el paso de un gusano, de un crustáceo o de un molusco; pero, en este último caso, de constitución distinta a la de la *Bullia*, ya que no ha formado los típicos cordones dobles de ésta, sino únicamente uno.

10. *Halymenites sublumbricoides* Azpeitia, n. sp.

Azpeitia, pág. 56, fig. 32.

Esta nueva especie de Azpeitia consiste en unos cilindros estrechos y muy largos que yacen en la superficie del banco duro y que unas veces son rectilíneos y otras muestran algunas inflexiones. El representado en la citada figura 32 muestra unos dibujos finos, a modo de estrias oblicuas que se entrecruzan a lo largo del supuesto tallo. En cierto modo, recuerdan estas pistas a las producidas por el pequeño crustáceo *Corophium* o por una especie a él afín, como se representa en las figuras 248 a 253 de Abel. Por nuestra parte pensamos que se podría tratar de la pista dejada por menudos moluscos gastrópodos. En efecto, no es raro encontrar en los bancos de numulites unas pequeñas conchas turriculares, que por su mal estado de conservación no logramos determinar, pero que pudieran ser de *Cerithium*, *Trochus* o *Turritella*. Hasta ahora había pasado inadvertida esta fauna de moluscos pe-

queños que se halla mezclada con los numulites. Ruiz de Gaona, en el reconocimiento de la fauna numulítica del flysch eoceno, ha podido hallar estos gastrópodos, que debemos contar entre los creadores de pistas en el flysch, confirmando así la valiosa observación de Azpeitia (pág. 18).

11. *Helminthoida crassa* Schafhäütl, *Helminthoida labyrinthica* Heer, *Helminthoida appendiculata* Heer.

Azpeitia, págs. 57 a 62, figs. 15 B, 17 y 28.

Aunque este autor admite la posibilidad de que la *H. crassa* y la *H. labyrinthica* sean sencillamente la pista de un molusco, no hace esta concesión a la *appendiculata* porque "los largos apéndices que hay a uno y otro lado de esta forma son un serio obstáculo para aplicarle esta teoría"; pero no se deduce de lo que a continuación dice Azpeitia a qué organismo atribuye el autor esta impresión. Actualmente, todas estas supuestas especies de organismos se consideran como otras tantas pistas de gusanos, conservadas como relieves en la cara inferior de los bancos duros del flysch. Lo más típico de las pistas agrupadas aquí es la enigmática serie de vueltas y revueltas que forman un continuado zig-zag y que parecen hechas de modo voluntario, con una regularidad sorprendente.

Debemos advertir, sin embargo, que bajo este nombre de *Helminthoida labyrinthica* Heer aparecen designadas dos pistas algo distintas a su vez. La representada en la figura 17 de la obra de Azpeitia muestra unos zig-zags irregulares sin tendencia a formar vueltas en espiral, en tanto que la representada en las figuras 334 a 336 de Abel (1) o en la 1 de Richter (22) está formada por segmentos curvos y concéntricos. Preferimos reservar el nombre de *Helminthoida labyrinthica* a la pista de las figuras citadas de Abel y de Richter, que muestran sus vueltas ordenadas concéntricamente.

A continuación expondremos brevemente, al describir la

nueva pista hallada por nosotros, las hipótesis de R. Richter, ideadas con el fin de explicar el origen de las huellas que forman meandros y zig-zags y que pueden aplicarse, según creemos, lo mismo a las *Helminthoidas* de Azpeitia que a otras semejantes.

Con esto terminamos la revisión de las pistas descritas por Azpeitia.

12. *Helminthoida zumayensis* n. sp. ?

G. de Llarena (Lám. I, fig. 12 y lám. III, fig. 11).

Todavía no existen normas precisas en la nomenclatura paleontológica para designar las pistas nuevas que se vayan reconociendo a medida que los estudios icnológicos adquieren más y más interés y desarrollo. Hasta ahora era suficiente conservar el nombre antiguo, que se les daba cuando eran consideradas como organismos fosilizados. En otros casos, como hace Schmidtgen, el género *Ichnium* (del griego *ichnos*: huella, pista) alberga especies de origen muy dispar; por ejemplo, el *I. dolloi* es la pista dejada por un reptil nadador; el *I. niersteinense*, la producida por un insecto del tipo del ditisco. Por nuestra parte, nos decidimos a dar el nombre aquí anotado a una huella que, reconocida por primera vez, que sepamos, en España, muestra grandes analogías con otras que ya han sido observadas y publicadas en Alemania y que han recibido el nombre de *Helminthoida labyrinthica*. Hasta ahora hemos encontrado dos yacimientos de la *H. zumayensis*: el primero se halla en una vuelta de la carretera de San Sebastián a Deva, cerca de Zumaya, en el kilómetro 38, en las margas del flysch de inoceramitos; el segundo, en la regata de Ubaún, al E. de Urnieta, no lejos del valle del Urumea, en terreno también del cretáceo superior, facies flysch sin fósiles.

Como se ve, esta pista consiste en un estrecho canal o surco que parece estar arrollado sobre sí mismo formando una

espiral plana, de muy poco relieve, de numerosas vueltas apretadas unas alrededor de las otras. En la figura 11 este canal queda tapado a la izquierda, tomando así la forma de cinta en relieve.

La pizarra margosa en donde se encuentra esta pista, tanto en un yacimiento como en otro, está bastante alterada y se deshoja en delgadas láminas, fácilmente desmoronables. Las pistas aparecen concentradas en ciertos puntos especiales. El ejemplar de Urnieta está más aplastado que los de Zumaya, mostrando una mayor anchura que estos últimos. Recordemos aquí que esto puede depender no sólo de los fenómenos orogénicos y de diastrofismo en general posteriores a la consolidación del terreno, que deforman los fósiles, sino del estado y constitución del material por el que se deslizan los gusanos u otros organismos generadores de estas pistas, del grado de humedad, etc.

R. Richter (19, 20) ha dedicado un especial interés al estudio de estas pistas "helminthoidas", que existen en gran abundancia en el flysch cretáceo y eoceno de Austria (Lámina III, fig. 14 y fig. 3 del texto). Para explicar esta sorprendente regularidad en la marcha de la pista, tanto aquí como en las *Helminthopsis* y en otras semejantes, Richter supone que los gusanos, probables pero hasta ahora desconocidos autores de aquélla, son guiados en sus movimientos por tres estímulos o reacciones psíquicas: la homostrofia, la tigmotasia y la fobotaxia. La homostrofia es la propiedad que tienen los animales creadores de las pistas en zig-zags regulares de volverse por completo en su marcha mediante un giro de 180 grados, formando cada vez segmentos de longitud igual o cada vez más largos, pero de ritmo de crecimiento constante (figs. 3 y 4); la tigmotaxia es la necesidad que sienten estos animales de dejarse guiar por el camino antes seguido, al cual se acercan y se adaptan en absoluto, y la

fobotaxia es la propiedad por la cual el animal rehuye el contacto con otro que está pastando junto a él o con la huella que él mismo acaba de dejar. Del efecto resultante de estas distintas reacciones se originan los que Richter llama "meandros dirigidos". Según este autor, gracias al juego contrapuesto

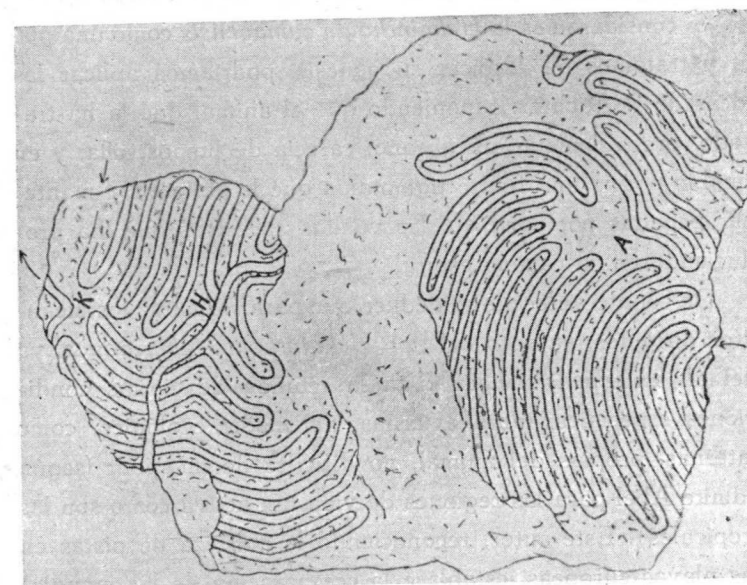


FIG. 3.—"Meandros dirigidos" de *Helminthoida labyrinthica* Heer. Flysch eoceno de Austria. Las flechas marcan la dirección de la marcha del animal. Por excepción, se observa a la izquierda una pista que atraviesa un sistema de meandros ya trazado antes. [Según R. Richter (29).]

de los estímulos sensitivos, el animal (probablemente un gusano) utiliza en su totalidad el campo de alimentación que tiene a su disposición, esto es, la delgada película de plancton que recubre la superficie de la playa fangosa en cuyo interior habita, sin necesidad de interferir ni disputar con sus vecinos, que pastan en el mismo campo. Para llevar a cabo este fin ha de encontrar como condición previa un suelo llano, fangoso, no muy viscoso y cubierto de agua, aunque a no mucha pro-

fundidad. Esta última circunstancia la obtienen los organismos creadores de meandros dirigidos en una playa durante la pleamar, pero poco antes de comenzar el reflujo. Entonces disponen de un abundante pasto, constituido por plancton, principalmente por diatomeas, que recubre en tenue capa la superficie de la playa.

Si consideramos la *Helminthoida zumayensis* como una pista y tratamos de explicar su génesis, podríamos aplicar las ideas de R. Richter, suponiendo que el animal que la ha trazado, probablemente un gusano, carecía de homostrofia, y en cambio poseía una fuerte tigmotaxia que le obligaba a mantener pegadas por completo las vueltas sucesivas que iba produciendo en su camino espiral.

De cuanto antecede se deduce que para formarse los meandros dirigidos, ya sean del tipo *Helminthoida labyrinthica*, ya del *H. zumayensis*, hace falta la reunión de ciertas condiciones especiales, tanto externas, del medio ecológico, como internas, propias del animal, no difíciles de imaginar (según admite Abel para las regiones de vida tan activa como son las tropicales). Este autor, reconociendo la pobreza de pistas en las playas europeas, establece la comparación de los manglares actuales, de la zona tropical, situados al borde del mar, con los que acaso debían existir en la época del flysch. Las costas de manglares llegan a veces a tener una longitud de muchos kilómetros, sobre todo en las desembocaduras de los ríos, y forman ensenadas y bahías, en donde el agua apenas tiene oleaje y el suelo es muy fangoso. Los mangles, estas curiosas plantas sujetas al suelo por abundantes raíces que brotan de los troncos, quedan sumergidos en el agua durante la pleamar, mientras que en la bajamar dejan al descubierto aquéllas, dando la impresión de que el árbol está montado en zancos. El suelo de la marisma, trabado en su orilla por las raíces subterráneas de los mangles, está constituido por un

fango o tarquín rico en materia orgánica, lleno entonces de una vida activa, por el cual pululan animales de todas clases. Si bien en los suelos que deja la marea al descubierto en los manglares actuales no ha sido posible, hasta ahora, hallar una forma actual semejante a la fósil productora de los meandros dirigidos, cabe esperar que la observación cuidadosa lle-



FIG. 4.—“Meandros dirigidos” en el interior de una capa de arena observados en una playa del mar Báltico. Se desconoce el animal que los ha hecho, aunque se supone por algunos que puede ser un gusano nematodo. Las figuras 1 a 5 son copias de las observadas. La figura 6 es teórica y muestra el enlace de tres sistemas de espirales hechos por un solo gusano. (Según Gripp, en Abel.)

que más adelante a encontrarlo, como en el caso de la *Bullia* generadora de las *scolicias*. R. Richter supone que han debido de ser gusanos los formadores de los meandros dirigidos, en tanto que O. Abel admite también la posibilidad de que se cuenten entre ellos los gastrópodos.

13. *Chondrites* (Lam. IV).

Esta que ahora consideramos como una pista del flysch es, probablemente, la que más abundante literatura ha producido hasta que se ha aclarado su verdadero significado. Entre los trabajos más antiguos que hemos podido anotar en donde figuran los *chondrites* están los de Sternberg, aparecidos en los años 1820 a 1834. Más tarde se les llamó "fucoides", por su posible semejanza con los actuales *Fucus* (algas pardas de tallo aplanado y ramificado dicotómicamente). Esta última denominación se ha ido extendiendo después a otras pistas muy distintas del flysch, aunque recientes autores como Krejci-Graf (14), en 1936, vuelven a reservar el nombre de *fucoides* como sinónimo del de *chondrites*. Se comprende que todavía existan autores que aun hagan figurar en sus libros los *chondrites* como algas (como sucede, por ejemplo, con K. v. Bülow: *Geologie für Jedermann*, 1941). La disposición de las supuestas frondes, vistas en rápido examen comparativo, hace pensar en su semejanza con las de las algas pardas llamadas sargazos vejigosos, corbelas o encinas marinas. Y así han ido pasando estas pistas, sin ser estudiadas con más detención por muchos autores. Eminentes paleobotánicos, como Gümbel y Rothpletz, han querido ver incluso estructuras celulares en los *chondrites*. Pero como en todas estas pistas tan típicas del flysch, bien pronto hubo otros paleontólogos que negaron su origen vegetal y pensaron en que deben de haber sido originados por el paso de animales, como hace Th. Fuchs en 1895 (6). La explicación más completa de estas huellas se debe, una vez más, a

R. Richter en varios de sus ya citados trabajos (19, 20, 24). Derichs (5) y Krejci-Graf (13, 14) confirman las ideas de Richter.

Los "condrites" (castellanizando la palabra) parecen, en efecto, a primera vista, algas, pues su color oscuro, con frecuencia negro, denota la materia orgánica, y las supuestas frondes parecen estar ordenadas dicotómicamente. Pero pronto se echa de ver que esta última disposición no es cierta; no existe tal dicotomía. Además, como en el caso de los *palaedictyon*, el tamaño de los condrites varía entre límites muy amplios; en una misma placa se pueden ver de los más dis-

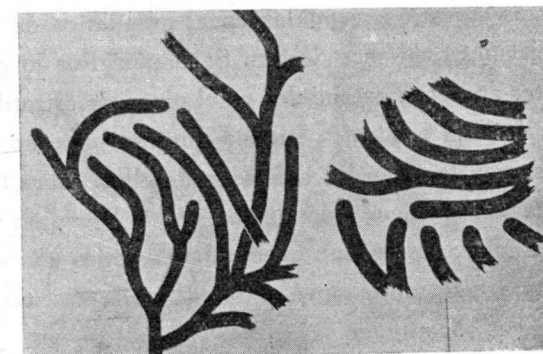


FIG. 5.—*Chondrites fureatus* Sternb. Se observa que el animal productor de estos canales está dotado de fobotaxia, que le obliga a cesar en su avance cuando nota la presencia de otro canal, bien hecho por otro, bien por él mismo. Flysch de Austria. [Según Derichs (5).]

tintos (Lám. IV, fig. 18). Su color los distingue de la roca en que se encuentran, pero no siempre es el negro de la sustancia orgánica carbonificada; por lo general, la materia de los condrites difiere poco en su constitución de la de la pizarra o marga que los conserva. A veces se encuentran intercalados los lechos de fina pizarra arcillosa en donde aparecen con otros que contienen diversas impresiones carbonificadas, de hojas y tallos

de plantas terrestres que arrastrados por el viento o el agua corriente hasta el mar se han depositado entre los sedimentos marinos; pero hasta ahora no se han reconocido restos indudables de algas marinas conservadas en el flysch.

Todas estas circunstancias llevan a pensar que los condrites son un caso más de pistas y, como demuestra R. Richter, trazadas por un organismo sometido a estímulos especiales, entre los que se destaca el de la fobotaxia. La figura 5, tomada de la nota de Derichs (5), muestra bien este hecho, lo mismo que en otros casos, aunque con menor claridad (Lámina IV). Se reconoce a veces que los condrites están constituidos por finos tubos, irregularmente ramificados, de lo cual tenemos muestras recogidas en el numulítico de Guetaria o en el maestrichtiense de San Sebastián. Por lo general, los condrites aparecen extendidos en el plano de estratificación cuando se deshoja la pizarra que los contiene; pero no es raro que se observen también las secciones de ellos, sobre todo de las ramificaciones, como muestra la lámina V, figura 21. Se supone que los condrites han quedado aplastados una vez formados y que, por tanto, apenas dejan ver la sección de los tubos que los constituyen.

Los condrites son, según todas estas observaciones, los tubos ramificados hechos por gusanos que pastaban en la superficie del fango rico en plancton y cubierto por una capa de agua no muy profunda. Las reacciones táctiles de estos gusanos han debido de obligarles a trazar canales de aspecto ramificado, distintos a los zig-zags de los helmintoideos. Falta en ellos la homostrofia y la tigmotaxia; pero, en cambio, la fobotaxia aparece exagerada. Merced a ella, el animal, que avanza poco a poco por el canal central, se desvía a uno y otro lado en busca del alimento; pero tan pronto como nota la presencia de otro canal, aun de uno hecho por él mismo, recoge la porción anterior de su cuerpo y la hace avanzar en

otra dirección. Así se desplaza sin dejar de mantenerse con el resto de su cuerpo en el interior del tubo central, que de esta manera va resultando más grueso y como si fuera el tallo de esta continuada ramificación. Las paredes de los tubos quedan revestidas en su interior por un *mucus* que contribuye a su endurecimiento y a su diferenciación posterior, al consolidarse el material de la playa en donde han vivido los gusanos formadores de los condrites. La materia orgánica que a menudo se encuentra formando los condrites puede ser debida a la descomposición del cuerpo de los gusanos que los han originado.

Los condrites se reconocen ya en las pizarras paleozoicas. R. Richter los señala en el devónico inferior. Los más característicos, sin embargo, se observan concentrados en el flysch cretáceo-eoceno. Como ya antes hemos dicho, los condrites son las pistas que aparecen casi únicamente en los niveles inferiores del flysch senonense de Guipúzcoa. Según los horizontes en los que se encuentran, así reciben nombres distintos (*Chondrites palaeozoicus*, del devónico; *Ch. bollensis*, del liásico; *Ch. Targionni*, *Ch. caespitosus*, *Ch. arbuscula*, del flysch cretáceo-eoceno). Comparando unos con otros estos condrites, apenas se puede encontrar una característica diferencial entre ellos que justifique la separación en especies distintas. Una vez averiguado el origen de estas petrificaciones se comprende que no sea fácil distinguirlas unas de otras.

14. *Polydora*.

La figura 22 de la lámina V muestra unos pequeños surcos, de aspecto algo parecido al de la *Helminthopsis sinuosa* Azpeitia n. sp. presentada en la lámina XIV del citado trabajo de Azpeitia; pero a diferencia de esta última, que aparece en relieve, la *Polydora* se encuentra en hueco. Además, la *Helminthopsis sinuosa* de Azpeitia o *Spiroraphe* de Abel (1, pá-

ginas 291, 292) forma pequeñas culebrillas, que recuerdan las de los espirilos o espiroquetas entre las bacterias. En cambio, la pista de *Polydora* es flexuosa, pero irregular. Atribuimos estas pistas al gusano poliqueto *Polydora* por mostrar una identidad grande con las reproducidas en la figura 261 A de Abel, halladas también en las calizas margosas del cretáceo superior de inoceramos de Viena.

15. *Tomaculum* sp.

En las capas eocenas de la isla de Santa Clara, en La Concha de San Sebastián, aparecen unas pistas largas, cilíndricas, que examinadas con la lente se muestran como tubos rellenos de menudas partículas ovaladas dispuestas transversalmente al eje de aquéllos (Lám. V, fig. 23).

Repasando los trabajos de Paleoicnología encontramos en los de Péneau (16) y Richter (23) la descripción del *Tomaculum problematicum* Groom, de las pizarras ordovicienses de distintos puntos del continente europeo. J. Barrande, en sus clásicos estudios sobre los terrenos silurianos de Bohemia, suponía, en 1872, que estas menudas partículas eran huevos de origen indeterminado. E. y R. Richter han podido ver que se trata de excrementos menudos, ordenados en cierto modo, aunque a veces se hallan repartidos por la superficie de las pizarras que los contienen. *Tomaculum problematicum* resulta, según lo hasta ahora comprobado, un fósil característico de determinados niveles ordovicienses. Sin embargo, los autores admiten la posibilidad de encontrar formaciones semejantes en terrenos de diferente edad. Por nuestra parte, dada la semejanza que muestran los *Tomaculum* ordovícicos con las pistas rellenas de menudos ovoides del eoceno de San Sebastián, creemos que se pueden referir estas últimas al mismo origen de los primeros. En el trabajo de E. y R. Richter no se dice cuál puede ser el animal que los ha originado. No es fácil

decidirse por el grupo zoológico que mayor probabilidad merezca de atribuirle la formación de estos tubos rellenos de "píldoras de excrementos", como les llaman los citados autores. En la isla de Santa Clara, no lejos del lugar en donde encontramos estos fósiles, aparecían además unas acumulaciones de excrementos, en forma de cordones apretados, que se deben referir con bastante certeza a los formados por gusanos del tipo del *Arenicola marina* actual. Como se puede ver fácilmente en las playas, estos últimos forman montones de excrementos en la salida próxima a la extremidad anal de su cuerpo, en el tubo en U que construyen para su vivienda.

16. *Fucoides* de la caliza rosa y gris danense.

El tramo danés, que, según Mendizábal (15), separa los dos flysch, el cretáceo y el eoceno, contiene escasos macrofósiles; en algunos puntos (cantera en la margen derecha de la ría del Urola en Zumaya) se encuentran equinoideos (*Ananchytes?*), pero lo más frecuente es que se halle desprovisto de ellos. En cambio, contiene microfauna (sobre todo globigerinas). Más fácil es, por el contrario, que se vean sus capas cruzadas por numerosos tubos blancos, algunos bifurcados, que llamados en general con el nombre de "fucoides", también consideramos como pistas. Sus dimensiones oscilan bastante, pero predominan los que tienen de uno a dos decímetros de largo y de un centímetro a dos de ancho. Parecen ser el relleno de agujeros hechos por algún animal, tal vez gusano, que se ha abierto paso en distintas direcciones a través del material blando que formaría el fondo de la playa de fango calizo. Häntzschel (11) compara los tubos producidos por los *Arenicola* actuales con los de la arenisca cretácea. Existe una cierta semejanza a su vez entre los fucoides danenses y estos últimos, si bien los primeros no son todos verticales, sino que en su mayor parte cruzan las capas de marga y caliza rosa en

todas direcciones del espacio. Por el momento, aunque el nombre de fucoides sea impropio, por confundirse, sobre todo, con el que muchos autores siguen empleando como sinónimo de *Chondrites*, preferimos seguir usándolo, aunque limitado a esta clase de pistas todavía no bien reconocidas. Los fucoides danenses predominan como relieve exento en la cara inferior de las margas y calizas rosa del tramo.

17. Añadiremos aquí un breve comentario a las láminas finales del trabajo de Kindelán (12). Este autor ha señalado, como se dijo aquí al principio, numerosas pistas del flysch. Casi todas ellas han sido objeto de revisión por parte de Azpeitia en el trabajo antes comentado, pero quedan algunas que este último autor no menciona.

La figura 19 de Kindelán representa la cara inferior de una losa de maciño o molasa numulítica mostrando las típicas impresiones de la *Bullia*. En su figura 21 parecen distinguirse las pistas de gusanos en la cara superior de la molasa, mientras que en su figura 22 estas mismas pistas se muestran como relieves en contramolde, lo que indica que, en este último caso, el ejemplar de maciño está visto por la cara inferior. Su figura 23 muestra la cara inferior de la molasa numulítica, y aunque el autor no dice el sitio exacto, la fotografía parece ser del mismo sitio que la de nuestra figura 29 (lámina VIII), tomada en la carretera de Guetaria a Zumaya, entre los kilómetros 34 y 35, no lejos del primero. Las figuras 23 y 24 de este autor muestran un entrecruzamiento de contramoldes, en relieve, de gruesas pistas. Respondiendo a la segunda de las preguntas que Kindelán hace respecto al significado de ellas, diremos que se trata del contramolde de los canales y surcos que deja en una playa el agua al retirarse y que son creados por la rápida erosión hecha en la arena o fango durante un fuerte oleaje. También son "efecto

de retirada de olas" las pistas reproducidas en la figura 25 de Kindelán, o las de nuestras láminas VII y VIII.

18. Incluimos aquí varias pistas no descritas o no figuradas todavía en las diversas publicaciones que hemos consultado. La figura 24 de la lámina VI muestra el contramolde de una impresión ramificada y con una manifiesta dicotomía en sus varias ramas, que parecen estar agrupadas en torno de su centro. Tanto las ramas como la superficie a su alrededor muestran unos botones más salientes, que deben corresponder a impresiones circulares más hondas. Es posible que se trate de las pistas producidas por gusanos (compárese con la figura 260 de Abel).

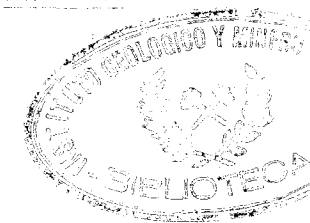
19. La figura 25 de la lámina VI reproduce una pista en contramolde, de la cara inferior del flysch de inoceramos del kilómetro 38 de la carretera de San Sebastián a Deva, cerca de Zumaya. Esta pista muestra un tallo rectilíneo del cual salen a distancias iguales dos ramas perpendiculares a él, formando una especie de verticilos. En las distintas obras consultadas, tampoco hemos encontrado algo semejante a que podamos referirnos. Sin embargo, creemos que debe de haber sido producida por un gusano, dotado de estas curiosas propiedades de la homostrofia y fobotaxia, si bien acusadas de forma distinta a la de las helminthoideas.

20. La figura 26 de la lámina VI reproduce un fragmento de flysch en el que se observa una pista larga rectilínea y otras menudas y ondulantes. La primera debe de ser el contramolde del paso de un crustáceo, y las segundas, los contramoldes del rastro dejado por gusanos al arrastrarse por el fango.

21. Pistas de crustáceo? La figura 27 (lámina VII) está tomada en la cara superior de un banco del flysch

eoceno de la isla de Santa Clara, en la bahía de San Sebastián. Por excepción, aparecen aquí en relieve estos contramoldes, que deberían corresponder a la cara inferior del banco siguiente. Suponemos que, una vez formados estos contramoldes, han debido de quedar adheridos a la cara superior del estrato primero, que forma el muro del segundo, como es frecuente observar en este tipo de pistas en otros puntos del flysch numulítico y también del cretácico.

22. La figura 28 (lám. VII) reproduce la cara inferior de un banco de molasa en la carretera de Guetaria a Zumaya. Se trata, por tanto, de contramoldes de depresiones, probablemente formadas por animales (gusanos?), que luego el agua, durante el oleaje, ha borrado en parte. Parece apreciarse, en efecto, una dirección general, del borde inferior al superior de la foto, creada por la corriente. Esta figura se asemeja mucho a la 25 de Kindelán.



RESUMEN

Objeto del presente trabajo es la revisión de las pistas del flysch cretáceo y eoceno de Guipúzcoa teniendo en cuenta los progresos realizados en los estudios de Paleocnología (rama de la Paleontología que se dedica al estudio de las huellas o rastros dejados por los seres orgánicos de las pasadas edades geológicas).

El flysch, facies especial, desarrollada sobre todo en el cretáceo superior y en el terciario inferior y medio, contiene, por lo general, escasos fósiles; en lugar de éstos aparecen las típicas pistas. El flysch, formado por una alternancia regular de bancos duros de maciño, molasa, caliza o arenisca y de blandos de marga pizarrosa, está, en la región guipuzcoana, lo mismo que en las contiguas, fuertemente plegado y con frecuencia volcado en grandes extensiones. La observación de las pistas contribuye a determinar la posición tectónica de las capas que las contienen. Por lo general, las pistas en relieve se encuentran en la cara inferior, y las en hueco, en la superior de los bancos duros. Existen excepciones, lo que obliga a recurrir a otros medios de observación de la posición tectónica de las capas, que serán objeto de parte de otro trabajo dedicado al numulítico guipuzcoano.

La facies flysch de pistas abundantes se concentra en los tramos superiores del cretáceo y en los inferiores del terciario. Son tan semejantes entre sí las series de flysch cretáceo y terciario que se muestran idénticas en cuanto a sus pistas, aspecto de las capas y tectónica. Únicamente se pueden distinguir gracias a sus fósiles característicos, no raros, por suerte, en nuestra región: los inoceramos, entre otros, en el maes-

trichtiense; los numulites, entre otros, en el eoceno, último terreno sedimentario marino que existe en Guipúzcoa.

Un tramo de calizas y margas gris y rosa danenses se para el flysch cretáceo del eoceno, lo cual facilita también la distinción de ambas series sedimentarias.

La observación de los rastros dejados por los animales de las playas actuales y su comparación con los huecos y relieves conservados en las capas del flysch ha llevado a rectificar muchas de las atribuciones dadas a los accidentes de la superficie de los bancos de este terreno. Al principio de la Paleontología se consideraban muchos de estos relieves y huecos como impresiones del cuerpo de animales o de vegetales. Actualmente se ha visto que son pistas, rastros, del paso de animales invertebrados.

Resumiendo: las hipótesis actuales sobre las especies clásicas del flysch son: *Palaeodictyon* parece ser el contramolde en relieve resultante de la desecación y contracción de una freza o puesta de huevos de molusco; *Lorenzina*, el contramolde de la impresión producida por la porción cefálica de un gusano; *Münsteria*, el contramolde de la pista de un molusco, crustáceo o gusano; *Chondrites*, *Helminthoida*, *Helminthopsis*, *Helicolithus*, *Halymenites*, *Cilindrites* son pistas de gusanos.

La observación atenta descubre cada día pistas nuevas en el flysch. Asimismo, en otros terrenos se descubren huellas, algunas susceptibles de ser utilizadas como jalones estratigráficos. Es posible que un día se llegue a reconocer la importancia de las pistas, rastros, pisadas o señales cualesquiera del paso de animales, como ayuda en la determinación de los niveles estratigráficos, desde los más antiguos hasta los más modernos, cuando falten los fósiles característicos, y que adquiera así un valor indudable en la Geología lo que hasta ahora sólo era una curiosidad paleontológica.

EXPLICACION DE LAS LAMINAS

LAMINA I

Fig. 12.—*Helminthoida zumayensis* n. sp. Flysch maestrichtiense. Km. 39 carretera San Sebastián-Deva, cerca de Zumaya. Dic. 1944. Fot. G. de Ll. (pág. 37).

Fig. 3.—Huella de un crustáceo anfípodo (*Corophium*) en el fango de la marisma de Jade (Mar del Norte, Alemania). Si la huella es reciente forma una pista continua; pero a medida que se va secando se resuelve en un rosario de puntos, que acaban por borrarse. Fot. Trusheim, 1928, en Richter (pág. 22).

LAMINA II (*)

Fig. 7.—*Subphyllochora* (*Scolicia*) (pág. 26) en la cara inferior de un banco de maciño numulítico. Boca de la ría de Pasajes. Febrero 1943. El animal que ha trazado esta pista poseía las propiedades de la homostrofia y tigmotaxia (página 38) bien acusadas. Las hendeduras rectilíneas cruzadas por la pista espiral son también pistas, probablemente de gusanos. Fot. G. de Ll.

Fig. 4.—*Scolicia prisca*. Rastro de un gastrópodo afín a *Bullia*, conservado en la cara superior del flysch maestrichtiense de Zumaya. Km. 38 carretera San Sebastián-Deva, Abril 1945. Fot. G. de Ll. (pág. 25).

Fig. 5.—*Subphyllochora*. Contramolde en relieve de la pista de un gastrópodo afín a *Bullia* en la cara inferior de un banco de maciño numulítico. Carretera de Zarauz a Zumaya. Oct. 1944. Fot. G. de Ll. (págs. 16 a 26).

LAMINA III

Fig. 14.—*Helminthoida labyrinthica* Heer. Flysch eoceno de Viena. Cada una de las capas que se desprenden al deshojarse la pizarra margosa aparece cubierta por estos "meandros dirigidos". Las pistas son de diferente ancho, según el tamaño del animal (gusano ?, crustáceo ?, molusco ?) que las ha producido. Según Richter (29) (pág. 38).

Fig. 11.—*Helminthoida zumayensis* n. sp. Pista espiral producida por el paso de un anélido ? Flysch maestrichtiense. Km. 39 carretera San Sebastián-Deva, cerca de Zumaya. Dic. 1944. Fot. G. de Ll. (pág. 37).

Fig. 9.—*Ichneumon strubi* Schmidtgen. Pista de insecto mántido del pérmico inferior de Nierstein, Renania. Entre las protuberancias alternantes se aprecian unas V menos salientes. Aquéllas son el contramolde de la impresión producida por las patas medias y posteriores; las V son la impresión de las patas anteriores juntas (según Schmidtgen en Abel) (pág. 29).

Fig. 10.—*Palaeodictyon*. Uno de los fósiles más discutidos del flysch. La foto muestra un ejemplar en el que se aprecia la desigualdad de los polígonos que forman la malla. Km. 38 carretera San Sebastián-Deva, cerca de Zumaya. Flysch maestrichtiense. Dic. 1944. Fot. G. de Ll. (pág. 30).

LAMINA IV

Figs. 18, 19 y 20.—*Chondrites* del flysch maestrichtiense de Errondo. San Sebastián. Abril 1943. Fotos G. de Ll. (pág. 42).

(*) En la lámina II, para comprender mejor las figuras, debe mirarse invertida la figura 7, girar 90° a la derecha la 4 y 90° a la izquierda la 5.

LAMINA V

Fig. 23.—*Tomaculum*. Cara superior de un banco de flysch numulítico. Isla de Santa Clara, San Sebastián. Marzo 1945. Fot. G. de Ll. (pág. 46).

Fig. 22.—*Polydora* ? Impresiones finas, culebreantes, conservadas en el flysch maestrichtiense. Zumaya, Km. 38 de la carretera San Sebastián-Deva. Dic. 1944. Fot. G. de Ll. (pág. 45).

Fig. 8.—Contramolde de la pista de un artrópodo en la cara inferior de un banco de maciño numulítico. Boca de la ría de Pasajes, mayo de 1944. Fot. R. de Gaona (pág. 29). (La figura debe mirarse girándola 90° a la izquierda.)

Fig. 21.—Marga pizarrosa del cretáceo superior de inoceramos de Viana, en donde se observan las secciones de los tubos hechos por los gusanos. Si se abre esta pizarra aparecen en su interior los condrites, de aspecto idéntico al de los de la lámina IV (de Abell) (pág. 44).

LAMINA VI

Fig. 24.—Contramoldes en relieve de pistas de gusano ? Flysch eoceno, carretera de Zarauz a Zumaya. Junio 1944. Fot. G. de Ll. (pág. 49, núm. 18).

Fig. 25.—Contramolde de una pista no descrita hasta ahora del flysch maestrichtiense de Zumaya. Km. 38 carretera San Sebastián-Deva. Dic. 1944. Fot. G. de Ll. (pág. 49, núm. 19).

Fig. 26.—Otras pistas del flysch maestrichtiense de Zumaya. La larga y gruesa indica el paso de un crustáceo (?); las finas y culebreantes, de gusanos (?). Fot. G. de Ll. (pág. 49, núm. 20).

LAMINA VII

Fig. 27.—Pistas de crustáceo ? Cara superior de un banco de maciño del flysch numulítico. Isla de Santa Clara, San Sebastián. Se observan varios tubos rellenos entrecruzados, en relieve. En la parte inferior, a la izquierda, se ha desprendido el contenido de uno de ellos, dejando ver el hueco trazado al pasar el animal por la galería creada en el interior de la arena. Fot. G. de Ll. Marzo 1945 (pág. 49, núm. 21).

Fig. 28.—Contramoldes de impresiones, aun enigmáticas, en la cara inferior de un banco de maciño numulítico. Km. 33 de la carretera de la costa, entre Guetaria y Zumaya. Se observa la acción de la corriente creada en la playa al bajar la ola en la dirección en que están orientados los relieves (de abajo arriba en la figura). Mayo 1945. Fot. G. de Ll. (pág. 50, núm. 22).

LAMINA VIII

Fig. 29.—Cara inferior de los bancos de maciño numulítico. Posición normal, muy inclinada, de los estratos. Km. 34 de la carretera de la costa, entre Guetaria y Zumaya. Se distinguen los contramoldes de los regueros o surcos creados por el rápido descenso del agua al retirarse las olas. Mayo 1945. Fot. G. de Ll. (página 48).

Fig. 30.—Contramoldes, en relieve, de las "escurriduras" o surcos producidos al retirarse las olas en la playa del mar infracretáceo. Carretera de San Sebastián a Madrid, encima de Idiazábal. Febrero 1945. Fot. G. de Ll. (pág. 48).

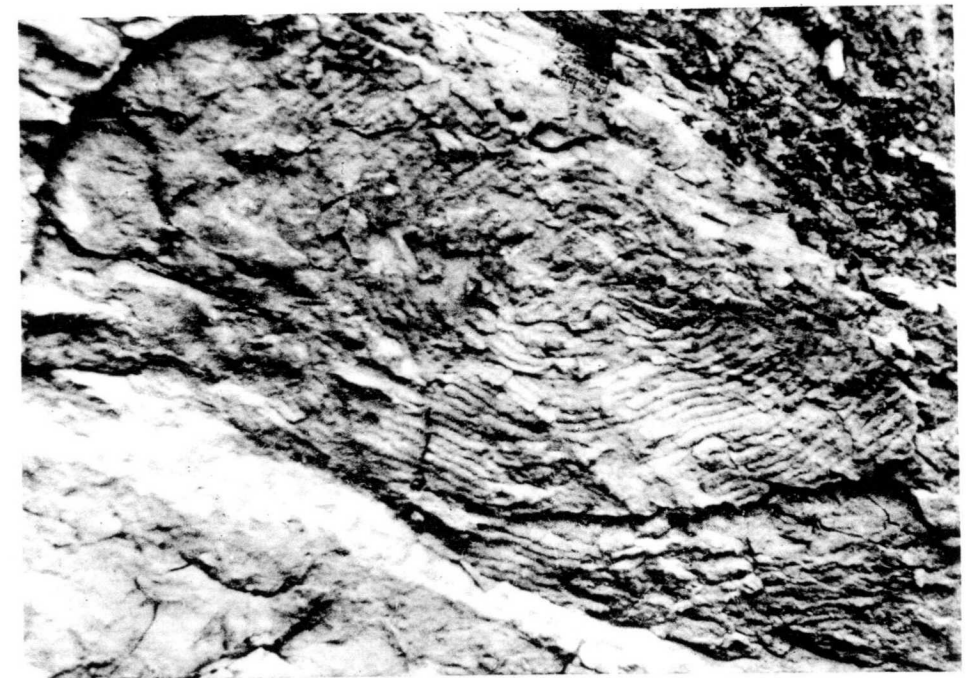


Fig. 12.



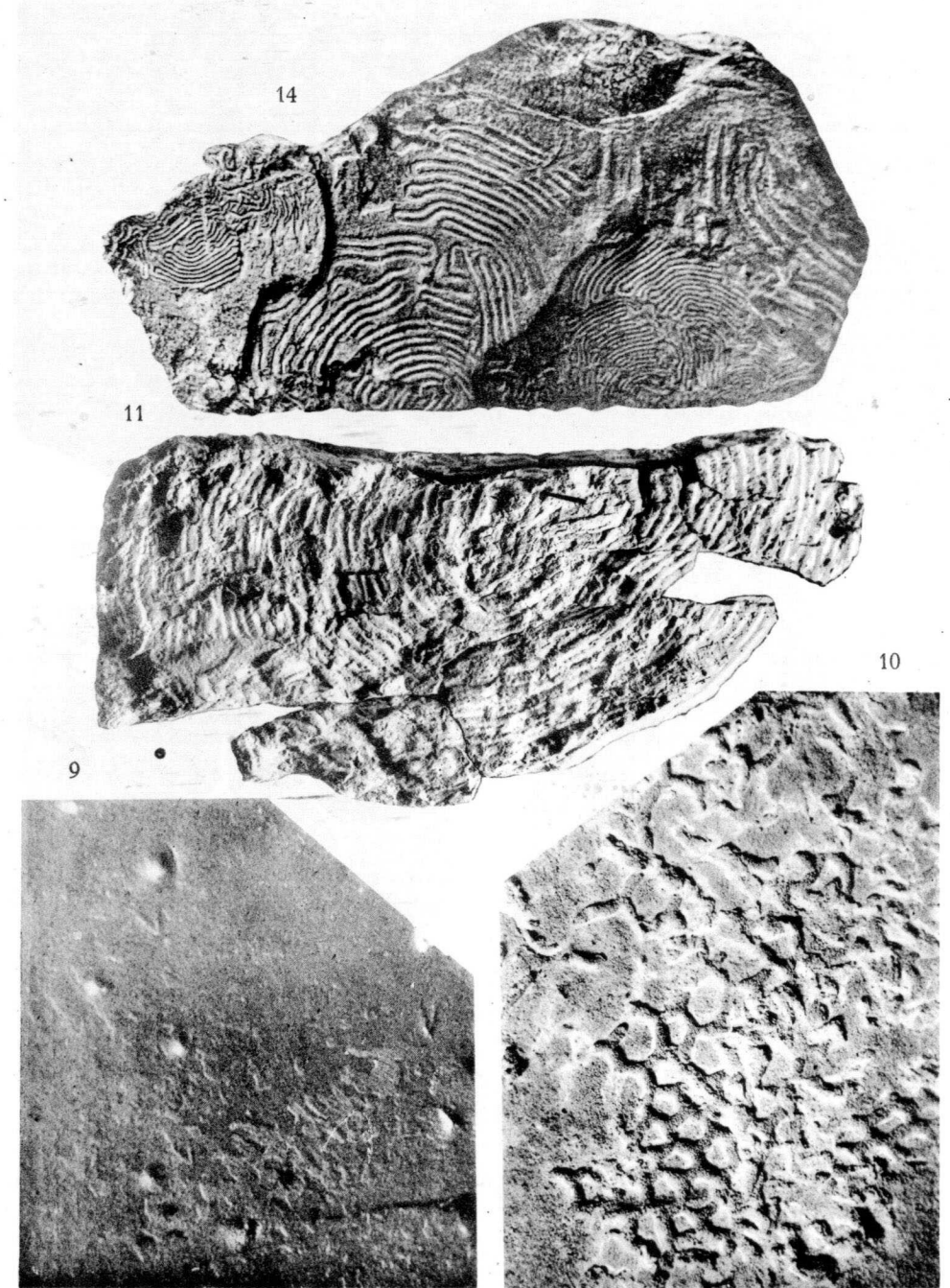
Fig. 3.



J. G. de Llerena

FLYSCH DE GUIPUZCOA





J. G. de Llarena



FLYSCH DE GUIPÚZCOA



20



18

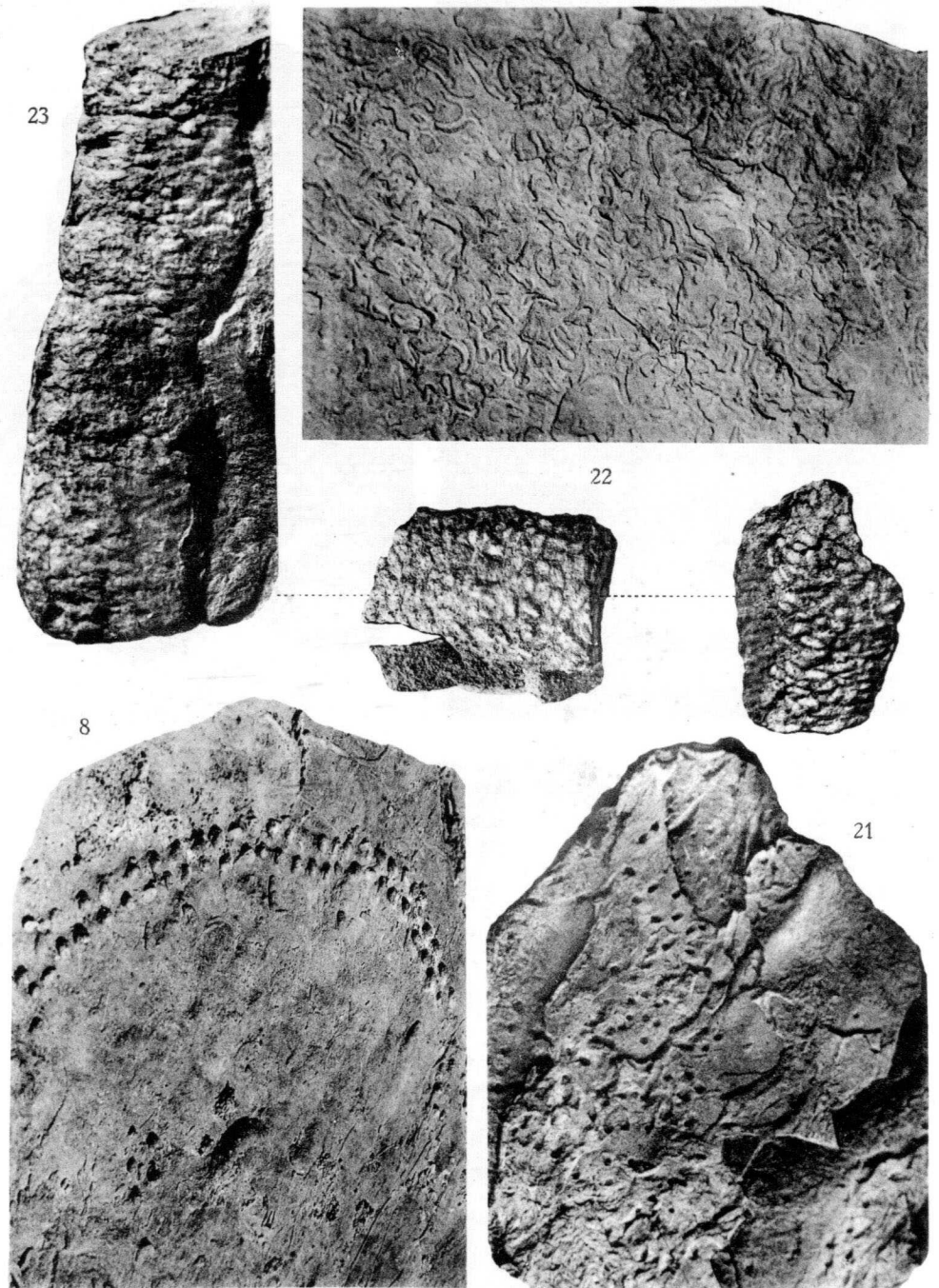


19

J. G. de Larena

FLYSCH DE GUIPUZCOA

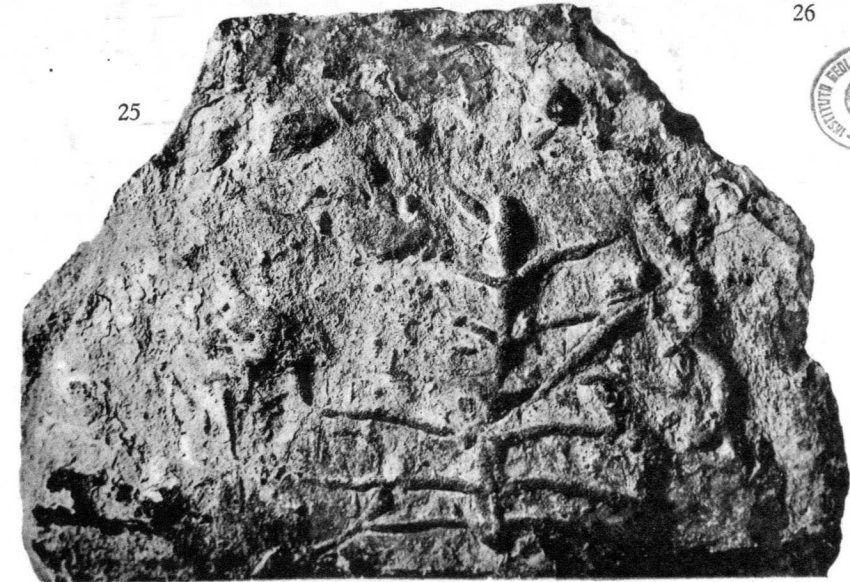
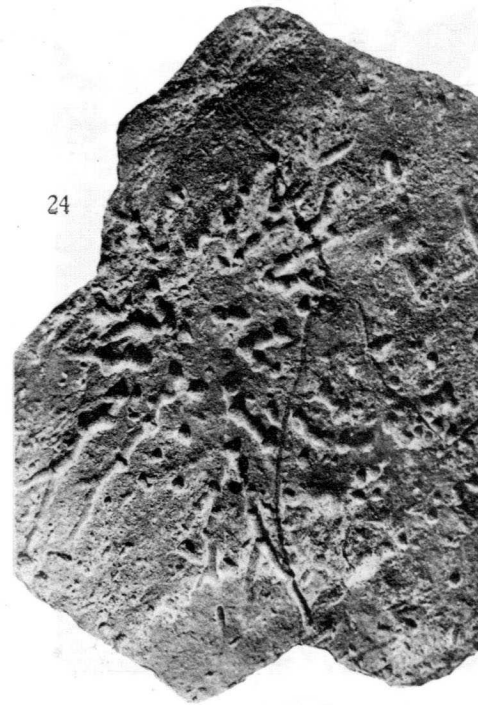




J. G. de Larena



FLYSCH DE GUIPÚZCOA



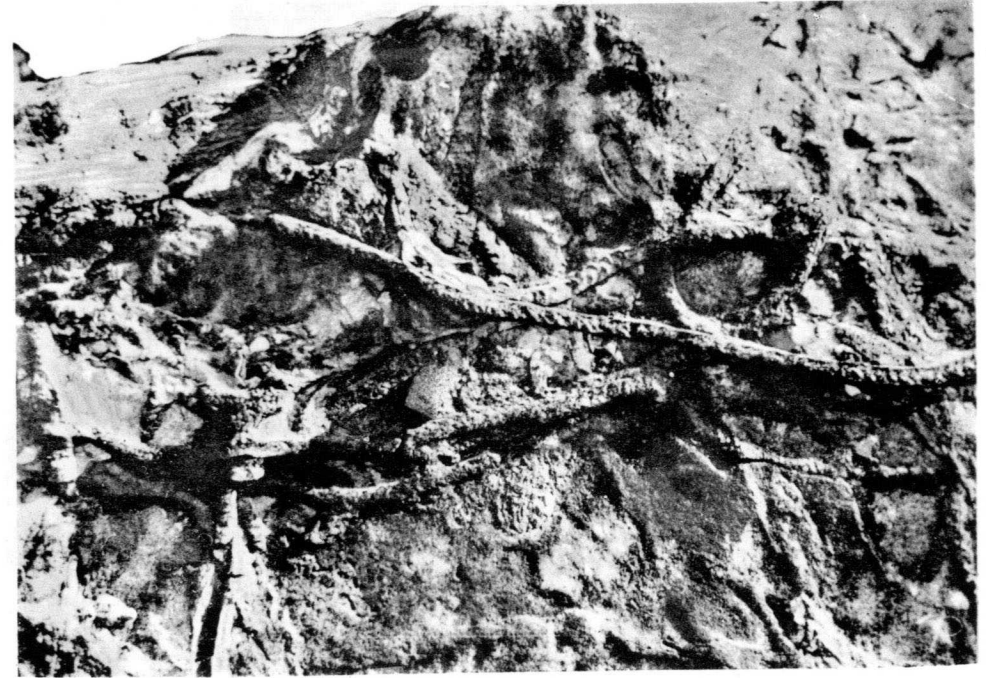


Fig. 27

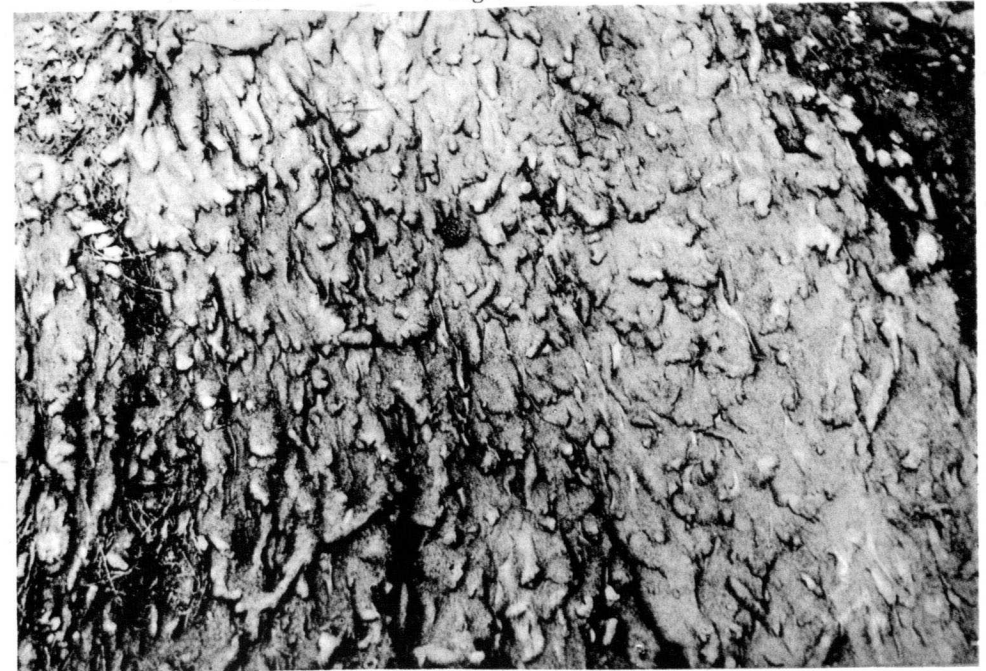


Fig. 28

J. G. de Larena



FLYSCH DE GUIPÚZCOA



Fig. 29



Fig. 30



BIBLIOGRAFIA

- 1.—ABEL (O.).—“Vorzeitliche Lebensspuren”, G. Fischer.—Jena, 1935.
- 2.—AZPEITIA (F.).—“Datos para el estudio paleontológico del flysch de la costa cantábrica y de algunos otros puntos de España”. *Boletín Inst. Geol. y Min. de España*.—Madrid, 1932.
- 3.—BERNARD (F.).—“Eléments de Paleontologie”.—Paris, 1895.
- 4.—CARRINGTON DA COSTA (J.).—“O problema das Bilobites” (A propósito de tres cartas de Nery Delgado). Public. do Museu e Labor. Min. e Geol. da Faculdade de Cienc. do Porto.—Porto, 1935.
- 5.—DERICHS (F.).—“Über Flysch-Chondriten”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1928.
- 6.—FUCHS (TH.).—“Studien über Fucoiden und Hieroglyphen”.—Viena, 1895.
- 7.—GÓMEZ DE LLARENA (J.).—“Un Instituto de Geología y Paleontología marinas en Wilhelmshaven”. Conf. y reseñas científ. Sociedad Española Hist. Nat.—Madrid, 1930.
- 8.—GÓMEZ LLUECA (F.).—“Noticia sobre el hallazgo de la *Lorenzina appenninica* de Gabelli en el Eoceno de Guipúzcoa”. *Bol. Sociedad Esp. Hist. Nat.*—Madrid, 1927.
- 9.—GÖTZINGER (G.) und BECKER (H.).—“Zur zoologischen Gliederung des Wiener Wald-Flysches (Neue Fossilfunde) Jahrbuch der Geol. Landesanstalt”.—Viena, 1932.
- 10.—GÖTZINGER (G.) und BECKER (H.).—“Neue Fährtenstudien im Ostalpinen Flysch”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1934.
- 11.—HÄNTZSCHEL (W.).—“Quer-Gliederung bei rezenten und fossilen Wurmröhren”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1938.
- 12.—KINDELÁN (V.).—“Nota sobre el cretáceo y el eoceno de Guipúzcoa”. *Bol. Inst. Geol. España*.—1919.
- 13.—KREJCI-GRAF (K.).—“Definition der Begriffe Marken, Spuren, Fährten, Bauten, Hieroglyphen und Fucoiden”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1932.
- 14.—KREJCI-GRAF (K.).—“Zur Natur der Fucoiden”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1936.
- 15.—MENDIZÁBAL (J.).—“Deslinde del Eoceno en la provincia de Guipúzcoa”.—*Bol. Inst. Geol.*, tomo XX.—1923.
- 16.—PÉNEAU (J.).—“Die Anwesenheit von *Tomaculum problematicum* im Ordoviciun West-Frankreichs”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1941.
- 17.—QUATREFAGES (A. DE).—“Note sur la *Scolicia prisca*, annélide fossile de la Craie”. *Ann. Cienc. Nat.*—Paris, 1849.

- 18.—RICHTER (R.).—“Flachseebeobachtungen zur Palaeontologie und Geologie”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1922-1926.
- 19.—RICHTER (R.).—“Die fossilen Fährten und Bauten der Würmer, ein Überblick über ihre biologischen Grundformen und deren geologische Bedeutung”. *Palaeont. Zt.*—Berlin, 1927.
- 20.—RICHTER (R.).—“Psychische Reaktionen fossiler Tiere”. *Palaeobiologica*.—Viena y Leipzig, 1928.
- 21.—RICHTER (R.).—“Gründung und Aufgaben der Forschungsstelle für Meeresgeologie “Senckenberg” in Wilhelmshaven”. *Natur und Museum*.—Francfort del Main, 1929.
- 22.—RICHTER (R.).—“Spuren von Schnecken-versteinert?”.—*Natur und Volk*, págs. 336-342.—Francfort del Main, 1938.
- 23.—RICHTER (R.) und (E.).—“Das stratigraphische Verhalten von *Tomaculum* als Beispiel für die Bedeutung von Lebensspuren”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1941.
- 24.—RICHTER (R.).—“Fährten als Zeugnisse des Lebens auf dem Meeresgrunde”.—Senckenbergiana, Francfort del Main, 1941.
- 25.—WASSOJEWITSCH (N.).—“Some data allowing us to distinguish the overturns position of Flysch sedimentary formation from the normal one”. *Trav. Inst. Geol. Acad. Sc. U. R. S. S.*—Leningrad, 1932.
- 26.—WASSOJEWITSCH (N.).—“Quelques remarques sur Hiéroglyphes et *Fucoides*”. *Ser. Geol. Izd. Gos. Tresta “Gruzneft”*.—Tiflis, 1936.

INDICE

	PÁGINA
I.—PREÁMBULO.....	5
II.—REVISIÓN DE LAS PISTAS.....	16
1. <i>Scolicia prisca</i>	16
El rastro de la <i>Bullia rhodostoma</i> Gray, del Africa del Sur, según las observaciones de O. Abel.....	19
Las pistas fósiles de <i>bullias</i> en la arenisca eocena de Viena y en el flysch cretáceo-eoceno de Guipúzcoa.	24
2. <i>Lorenzina apenninica</i> , de Gabelli.....	26
3. Pistas de crustáceos.....	29
4. <i>Palaeodictyon</i>	30
5. <i>Cylindrites submontanus</i>	33
6. <i>Helminthopsis sinuosa</i>	33
7. <i>Helminthopsis ? concentrica</i>	34
8. <i>Helicolithus</i>	34
9. <i>Münsteria bicornis</i>	35
10. <i>Halymenites sublumbricoides</i>	35
11. <i>Helminthoida crassa</i> , <i>H. labyrinthica</i> , <i>H. appendiculata</i> .	36
12. <i>Helminthoida zumayensis</i> n. sp?	37
13. <i>Chondrites</i>	42
14. <i>Polydora</i>	45
15. <i>Tomaculum</i>	46
16. <i>Fucoides</i> de la caliza rosa y gris danense.....	47
17. Pistas figuradas en el trabajo de Kindelán.....	48
18 a 22. Otras pistas	49
RESUMEN.....	51
EXPLICACIÓN DE LAS LÁMINAS.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	55

**DATOS PARA EL ESTUDIO DE LA HOJA
GEOLOGICA DE CABREJAS DEL PINAR
(S O R I A)**

POR

JOSE CANTOS FIGUEROLA SAIZ DE CARLOS

JOSE CANTOS FIGUEROLA SAIZ DE CARLOS

DATOS PARA EL ESTUDIO DE LA HOJA GEOLOGICA DE CABREJAS DEL PINAR (SORIA)

Situada como a unos 25 kilómetros al O. de Soria, existe una denudación del Cretáceo superior, de gran interés para la confección de la Hoja geológica de Cabrejas del Pinar. Próximamente, en su centro, se encuentra el pueblo de La Cuenca, sin duda influido el nombre por su situación en la pequeña cuenca topográfica a que ha dado lugar la mencionada denudación.

En este trabajo ha intervenido conmigo el ayudante de Minas D. Juan B. Targhetta.

ESTRATIGRAFIA

La constitución geológica de la zona a que nos referimos está representada por las formaciones que se citan a continuación:

CRETÁCEO.—Comprende este sistema la casi totalidad de la extensión superficial de la zona recorrida. Está constituido por las dos grandes divisiones del mismo: el Infracretáceo y el Cretáceo propiamente dicho. Los horizontes o tramos que distinguen al primero son los siguientes:

Aptense-Albense.—Estos dos tramos, de difícil separación entre sí, en los lugares de nuestras observaciones, constituyen

el horizonte visible geológico más profundo de la serie en la zona. En distintos lugares afloran sus capas margosoarcillosas, alternando con arcillas y areniscas, entre las cuales señalamos en el plano de La Cuenca las tres manchitas de mayor interés: una, al E., y las otras dos, al O. de La Cuenca, de mucha mayor extensión y coincidiendo con el eje de uno de los pliegues más definidos de dicha zona, representado en el corte A, B. C. D.

Repetiremos que las rocas de ambos pisos son casi exclusivamente margas arcillosas, arcillas y areniscas; las primeras, con textura sabulosa a veces, y con vetillas alternantes de arcilla las últimas. Su tono es grisáceo y de tinte rojizo frecuentemente. Ocupan la parte más elevada del tramo y suelen presentarse allí donde la denudación las hace visibles, con potencias de 15 ó 20 metros el banco arcilloso, pasando de los 400 metros el paquete alternante de areniscas y arcillas.

El horizonte alto de esta serie, compuesto de margas arcillosas de color gris claro, tiene espesores muy variables, pero del orden de 15 metros.

En otra ocasión ya hicimos la advertencia de que, aunque se había atribuido anteriormente al Cenomanense, nos veíamos obligados a situarlo en el tramo Albense, por los fósiles encontrados siguientes:

Exogira laciniata, Goldfuss.

Lima rauliniana, d'Orb.

Nucula mariae, d'Orb.

Arca cotaldina, d'Orb.

Natica rauliniana, d'Orb.

Todos característicos del Albense.

La parte inferior de esta serie geológica está formada de areniscas duras, ferruginosas y conglomerados cuarzosos.

Aunque no hemos conseguido hacer mediciones del espesor de estos tramos que ofrezcan cierta garantía, calculamos

debe ser del orden de los 800 metros, y quizá de más en algunos lugares.

CENOMANENSE.—Sobre el tramo que dejamos descrito descansa la serie de horizontes de edad cenomanense en la forma que se cita, de abajo arriba.

Caliza margosa tableada de color gris, que salta en pequeñas lajas al golpe del martillo. Presenta espesores de 10 a 15 metros en la zona de La Cuenca; pero observados más a Poniente en la región de Calatañazor, llegan a tener de 20 a 40 metros.

Sobre estas calizas, y en concordancia absoluta con ellas, como sucede con todas las de la serie, se apoya un horizonte de margas de potencia parecida, divididas, por su coloración, en dos niveles diferentes: el superior, de tonos claros, y el inferior, de color gris azulado, de 10 y 15 metros de espesor, respectivamente. Suelen ser muy fosilíferos, habiendo suministrado la mayor parte de los fósiles encontrados en este tramo.

Aparecen, en general, muy descompuestos, como es natural, por ser muy arcillosos, constituyendo la mayor parte del terreno de labor que se aprovecha en la zona, según puede observarse en las inmediaciones del kilómetro 191 de la carretera de Valladolid y en casi todas las vaguadas de la zona de La Cuenca. La falda del cerro del Otero se encuentra formada en redondo por ellos, y el cerro aparece coronado por un banco de tres a cuatro metros de caliza turonense. Dichas margas son, por su coloración y su contraste con el tono blanquecino de las areniscas albenses y el amarillento sucio de las calizas superiores, las que caracterizan el aspecto fajado del contorno en los cerros.

El espesor del Cenomanense varía entre 35 y 60 metros.

TURONENSE.—Sobre los descritos horizontes margosos descansan nuevos tramos de caliza, en bancos de potencias que

oscilan entre 20 y 50 cm. Son de textura compacta y con vetillas a veces de espato calizo. Su color es, en general, gris claro, y vienen intercalados de otros bancos calizos algo margosos. En la zona de La Cuencia no pasa de 55 metros de espesor este tramo.

SENONENSE Y DANÉS.—No es posible, por el momento, marcar sobre el plano el contacto entre estos dos tramos, principalmente debido a la falta de fósiles y a la similitud de las facies de ambos. Por consiguiente, cuando hablamos del Senonense nos referimos al paquete geológico que los comprende a los dos.

Está constituido casi exclusivamente de calizas compactas en gruesos bancos. Unas veces son de color gris claro, algo margosas, y otras de color claro amarillento; a veces, de textura casi cristalina.

La parte superior, atribuida al Danés por haberse encontrado gran cantidad de *Lychnus padroanus*, es de estructura algo cavernosa.

Aunque no es fácil de medir la potencia de estos tramos, se ha podido hacer con cierta aproximación en diferentes lugares de las zonas recorridas.

En el Pico de Frentes tienen las calizas superiores un espesor de 80 metros, dato de poco valor puesto que hay que suponer que está erosionado el resto.

En la carretera de Abejar, y sobre el flanco S. del anticlinal de La Cuenca, se calcula en unos 350 metros. En la zona de Calatañazor y Muriel, del orden de 400 metros. Cerca de La Muela se ha hecho una medición de unos 450 metros.

PALEONTOLOGIA

Los diferentes horizontes geológicos delimitados en la zona y sus alrededores se han distinguido por la presencia en ellos de los siguientes fósiles:

ALBENSE.—En las arcillas margosas de la parte superior se han encontrado:

Exogira Laciniata, Goldfuss.

Lima rauliniana, d'Orb.

Nucula Mariae, d'Orb.

Natica rauliniana, d'Orb.

Natica rotudatica.

Arca cotaldina, d'Orb.

CENOMANENSE.—En las margas de este tramo se han encontrado los fósiles que se citan:

Vola quinquecostata.

Acantoceras mantelli, Sow.

Exogira cornuarieti, Goldfuss.

Arca archiaciana.

Cardium cenomanenses.

Arca videnense, d'Orb.

Periaster conicus, d'Orb.

Inoceramus labiatus, Schl.

Bima ovata, Roem.

Ostrea flabellata.

Toxaster Ag.

Acantoceras rhotomagense.

TURONENSE.—En las calizas del Turonense se han encontrado los siguientes fósiles:

Nerina fulchella, d'Orb.

Rostellaria simplex, d'Orb.

Arca mailleana.

Natica martinii, d'Orb.

Hippurites organisans.

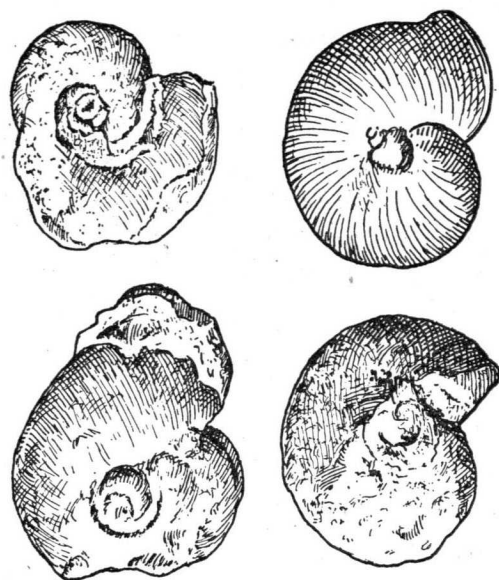
Cardium productum, Sow.

SENONSENSE.—En el tramo Senonense no hemos podido clasificar más que:

Ostrea acutirostris.

Ostrea materniana.

DANÉS.—Este tramo no se ha podido separar del Senonense y, por tanto, se dibuja en el plano como formando parte de este mismo. Sin embargo, se conoce su existencia por el



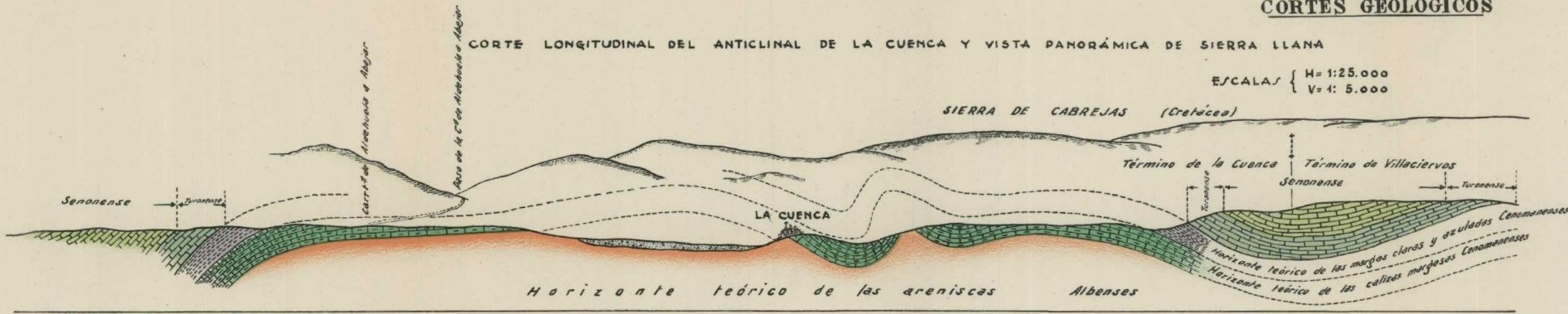
descubrimiento al N. de Calatañazor, próximo al contacto con el Oligoceno, de muchos ejemplares de *Lychnus Pardoanus*, fósil del Garumnense.

El plano horizontal y cortes geológicos, unidos al artículo, deben dar una idea suficientemente clara de este plegamiento erosionado para no hacer necesarias más explicaciones sobre el mismo.

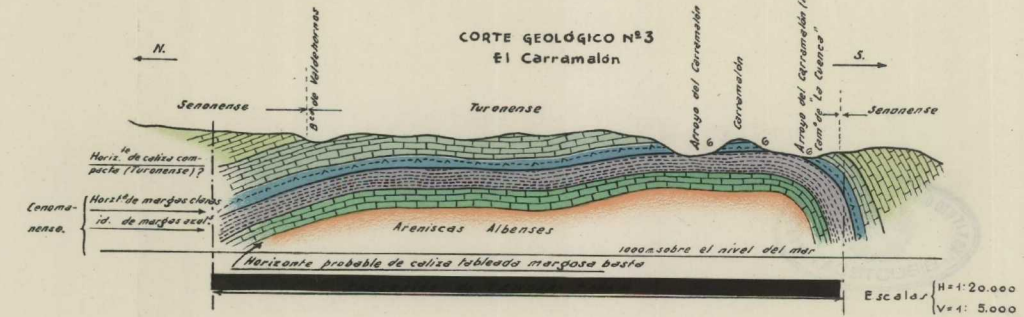
CORTES GEOLÓGICOS

CORTE LONGITUDINAL DEL ANTICLINAL DE LA CUENCA Y VISTA PANORÁMICA DE SIERRA LLANA

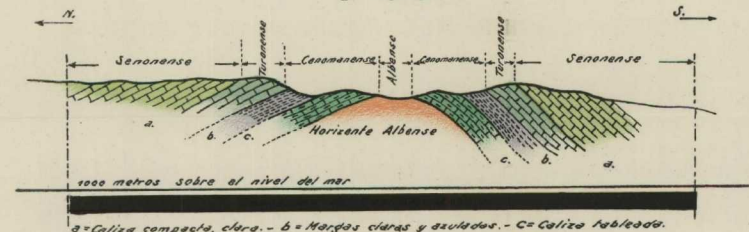
ESCALAS { H=1:25.000
V=1: 5.000



CORTE GEOLÓGICO N°3
El Carramallón

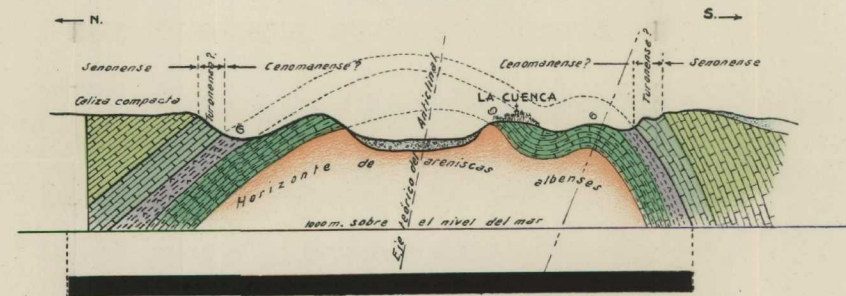


CORTE GEOLÓGICO N°1
"El Frontal"

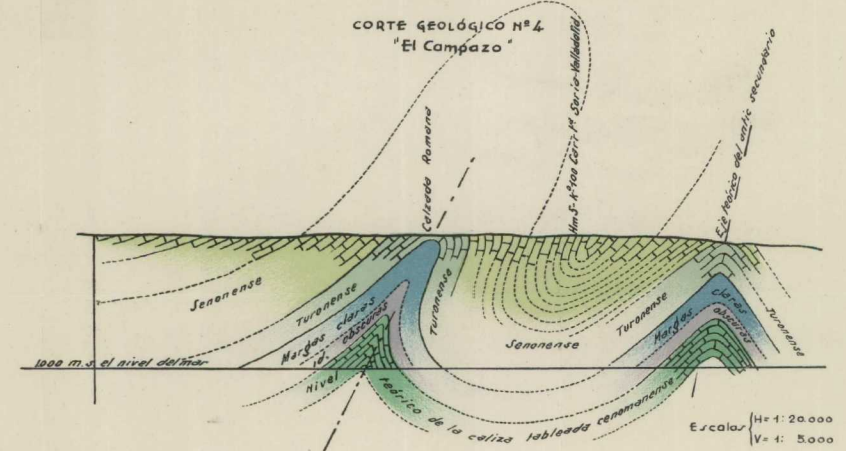


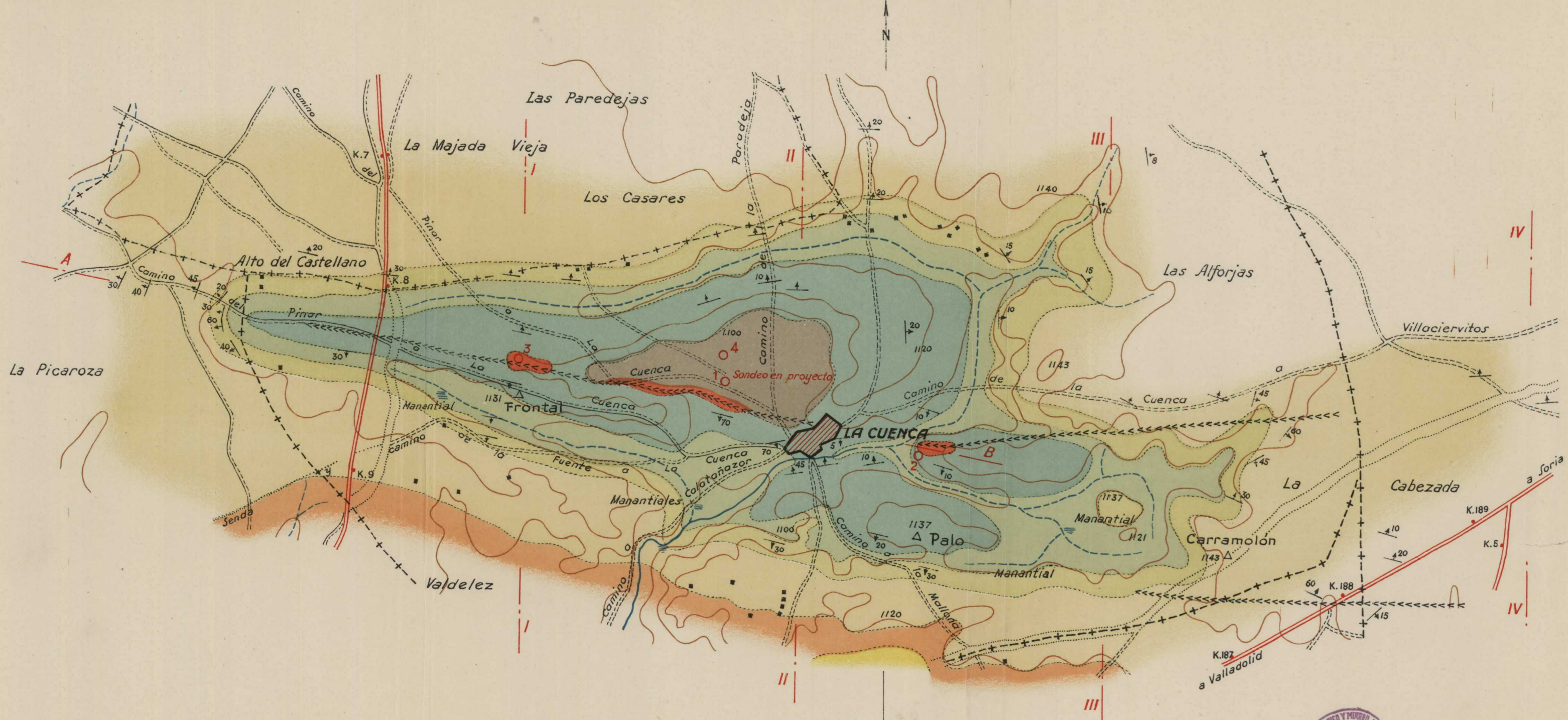
ESCALAS { H=1:20.000
V=1: 5.000

CORTE GEOLÓGICO N°2 Dirección N°8
Por "La Cuenca"



CORTE GEOLÓGICO N°4
"El Campazo"





PLANO GEOLÓGICO

Escala 1:25.000

- Cuaternario
- Mioceno
- Terciario antiguo
- Senonense-Danés (Caliza)
- Turonense (Caliza)
- Cenomanense (Marga arcillosa)
- Cenomanense (Caliza margosa)
- Albense (Arcillas rojas, grises y arenas)



**NOTA SOBRE EL
AFLORAMIENTO AURIFERO EN SESAMO**

Vega de Espinareda (León)

POR

P. H. SAMPELAYO

NOTA SOBRE EL
AFLORAMIENTO AURIFERO EN SESAMO
VEGA DE ESPINAREDA (LEON)

A un afloramiento de cuarzo blanco, lechoso y compacto, que cruzado por venillas anastomoseadas de pizarra azulada se ofrece en superficie de poco más de un metro cuadrado en los castañares del pueblo de Sésamo, se atribuyen las extraordinarias muestras de oro que han circulado en manos de mineros, y algunas de las cuales, que conservamos en el Museo del Instituto Geológico, son comparables a las de los buenos criaderos de Alaska y California.

El afloramiento tiene escaso relieve; su cuarzo es blanco lechoso, sin fisuras ni huecos de piritita alterada en limonita, y sólo está surcado por venillas retorcidas y subdivididas de tonos azulados de pizarra siluriana y cloritosa; algunas fracturas, siempre concoideas, de la roca, la cual no tiene aspecto clásico aurífero, pudo ser el sustento de las brillantes muestras, puesto que el cuarzo de las que hemos examinado tiene la blancura y compacidad del asomo y las pequeñas manchas de clorita. Actualmente, la superficie del crestón no ofrece ni relieve, ni vestigios de oro, porque, según refieren los dos mineros que se consideran descubridores, pusieron un barreno de taquear para que arrancase el oro que ofrecía y que les era difícil ocultar, como deseaban, para evitar la codicia. En las arenas molidas por el barreno que rodean el asomo cuarzoso hemos recogido bastantes partículas y motas de oro con cuarzo blanco y pizarrilla cloritosa en granos, todo el conjunto de medio a varios milímetros. Todas las demás mues-

tras no tenían contacto con el afloramiento cuando las hemos visto.

Como alcance de última noticia hemos de advertir con agrado que al romper algunas de las muestras que traíamos, atribuibles al crestón de cuarzo, han aparecido preciosas concentraciones de oro.

La ladera está cubierta de vegetación, detritus de montaña y arcillas holocenas, que aumentan de espesor hacia la ribera del Cúa, donde ya los depósitos ofrecen facies miocenas de fondo rojizo amarillento.

Desde la cota del crestón de cuarzo (600-620 ?) hacia Norte y Noroeste se empieza a subir hasta los 800 ? metros de la Peña Piñeiro, afloramiento cuarcitoso de más de un kilómetro, que arrumbado casi de N. a S. resalta en cornisa, señalando posiblemente la traza de un anticlinal de cuarcita siluriana.

Las pizarras arcillosas y desmenuzables van tomando consistencia y ofreciendo fisibilidad, pero sin que en ellas se encuentren fósiles; más arriba, y en losas que parecen del tramo alto del cambriano gallego (C_5), losas del Mondigo, que se utilizan para cercar heredades en las tierras laborables de Sésamo, se reconocen huellas y plexos de *cruzianas* planas, del tipo de las postdamienses o del supracambriano.

En la cuarcita superior que forma el escarpe no hemos podido encontrar fósiles, pero sí en las losas que cubren directamente a las cuarcitas, y en las cuales hemos recogido *climacograptus* sp. y *monograptus* de rabdosomas elevadas; las losas son muy fisibles, algo campaniles, como filadios, y parecen confirmar el hiato desde la cuarcita armoricana a los tramos de Llandeilo y hasta Caradoc, tan repetido en el gotlandiense español superpuesto a la Base.

Otros filones.—Quizá el asomo del cuarzo aurífero, unido al de la fuente p. p. de la demarcación, tenga un rumbo

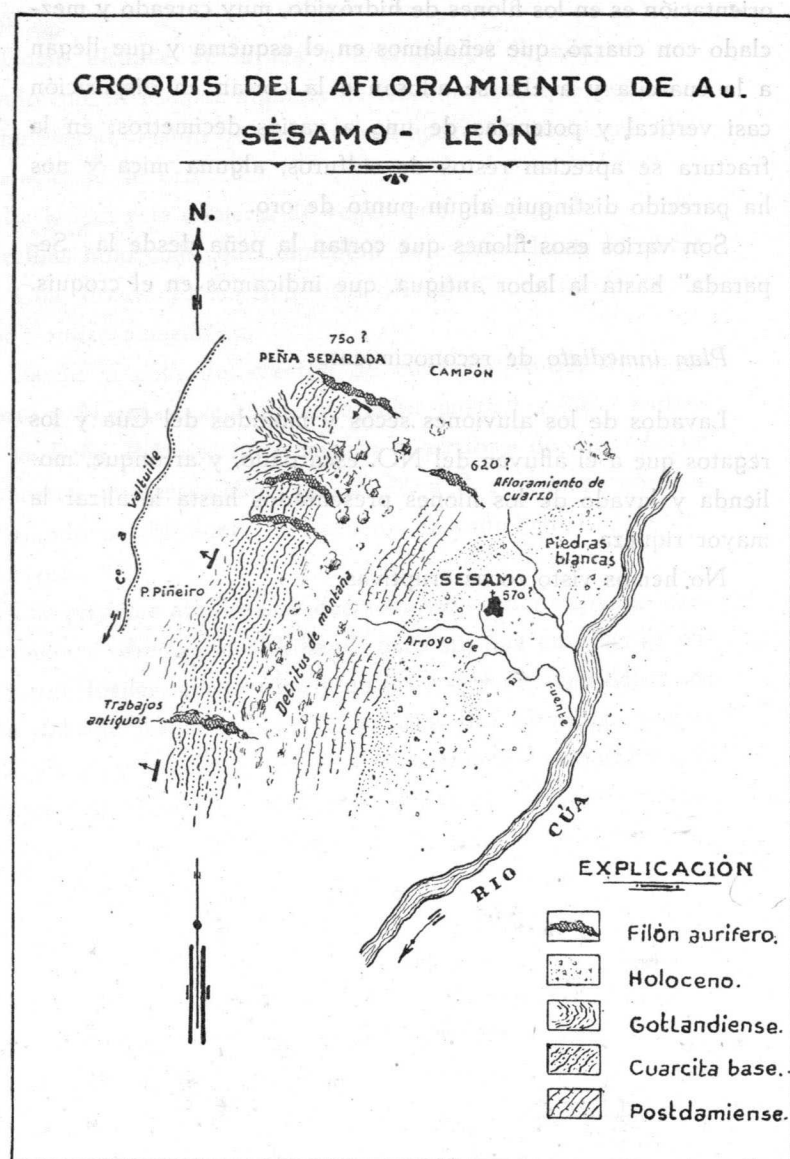
Oeste-Noroeste; pero en los que desde luego se distingue esa orientación es en los filones de hidróxido, muy careado y mezclado con cuarzo, que señalamos en el esquema y que llegan a la cuarcita y a ella se adosan o la cortan en disposición casi vertical y potencias de uno a varios decímetros; en la fractura se aprecian restos de sulfuros, alguna mica y nos ha parecido distinguir algún punto de oro.

Son varios esos filones que cortan la peña desde la "Separada" hasta la labor antigua, que indicamos en el croquis.

Plan inmediato de reconocimiento:

Lavados de los aluviones secos y mojados del Cúa y los regatos que a él afluyen del NO. escarpado, y arranque, molienda y lavado de los filones presentados hasta localizar la mayor riqueza.

No hemos visto rocas eruptivas.



**EXTRACTO Y EXPLICACIONES ACERCA DE UNA NOTA
(R. Aitken) SOBRE LA TECTONICA DE LA DEMANDA**

POR

P. H. SAMPELAYO

Esta interesante nota, que no hemos visto referida en ninguna bibliografía española, fué publicada en la revista *Geological Magazine*, en el número de enero-febrero de 1942, y aunque con retraso, juzgamos interesante la publicación de su resumen.

LA SIERRA DE LA DEMANDA (Burgos-España):

NOTA SOBRE LA TECTONICA

DEL BORDE NORTE

POR

ROBERT AITKEN

LAMINAS I Y II

INTRODUCCIÓN.—El territorio a que se refiere esta nota está situado en el borde Norte de la Sierra de La Demanda, cerca del límite oriental de la provincia de Burgos (España). En tal sitio, una estrecha faja de formaciones carboníferas y secundarias que separa el áspero macizo paleozoico, herciniano, del suave Terciario de las colinas y de la cuenca de Briviesca, quedó violentamente quebrantada en época terciaria. El objeto de esta nota es aportar alguna información al problema tectónico de la faja torturada.

Una breve nota publicada por el autor en el año 1932 debía servir de preliminar sobre la información completa de la tectónica, que no puede hacerse por ahora. El presente artículo es, pues, una ampliación de la nota primera, refiriéndose especialmente a los mapas y publicaciones de otros geólogos, particularmente de Larrazet (1896), Sánchez Lozano (1918) y Schriel (1930).

I.—IDENTIFICACION DEL CARBONIFERO

Los tres geólogos citados—Larrazet, Sánchez Lozano y Schriel—no atribuyen la debida importancia al Carbonífero de La Demanda. Ni Larrazet ni Schriel indican la presencia del Carbonífero en Santa Cruz (E_2) (1), a pesar de recogerse allí alguna clase de carbón en la superficie. Sánchez Lozano, más explícito acerca de las formaciones carboníferas, no habla, sin embargo, del Carbonífero existente al este de Santa Cruz, y no menciona las muestras que se encuentran cerca de San Antonio y de Pradoluengo (H_3). El caso más raro es el de Schriel, que teniendo a la vista los conglomerados básicos del Carbonífero de la sección del valle de Tirón, por Fresneda (K_2), los identifica como Mioceno (1930, pág. 41, seis figuras).

Sin caer en las exageraciones de los mapas anteriores, que atribuyeron a gran parte de la Sierra la formación carbonífera, el autor propone en la figura 1 del texto la fijación de límites del Carbonífero, expresión fundamental para la apreciación de la tectónica.

II.—SERIE DEL CARBONIFERO EN FRESNEDA

El mejor lugar para el estudio del Carbonífero se encuentra en el valle del río Tirón, al sur de Fresneda, donde se puede ver una serie no interrumpida de este terreno en posición muy inclinada hacia el Norte.

(1) Los sitios se localizan, aquí y en todo el artículo, por referencia a las divisiones rectangulares indicadas en el mapa. (Colocado al final con el nombre de figura 2.)

Schriel describe los conglomerados de este sitio como formando restos de rellenos miocenos en un valle terciario hipotético, los cuales se hubieran quedado en las pendientes en forma de arroyuelos procedentes de la pizarra cambriana, encuadrados por las cuarcitas alternantes del mismo terreno. Pero el hecho es que no existen tales cuarcitas. Las formaciones intercaladas con los conglomerados se componen de areniscas silíceas quebradizas, con restos de plantas, de composición idéntica al cemento de los mismos conglomerados. Además, estos almendrones no son transgresivos, sino al contrario, puesto que asoman en estribos en las pendientes inferiores, y se les puede seguir desde allí (c. 1.020 m.) hasta el nivel de la roca terciaria superior, donde se levantan en un risco aislado: la Peña del Pico (L_2 ; c. 1.380 m.), sin apoyo lateral de ninguna clase. La teoría de Schriel se expone a toda clase de reparos *a priori* y hasta es inconsistente con el desarrollo parcial del Pontense, considerado por sus colaboradores Richer y Teichmüller (1) (véase la figura 1).

Según la opinión del autor del presente artículo, la composición en la sección del valle del Tirón (lám. I, pág. 26) se puede considerar sea la siguiente:

(1) Die Entwicklung der Keltiberischen Ketten, etc., etc.

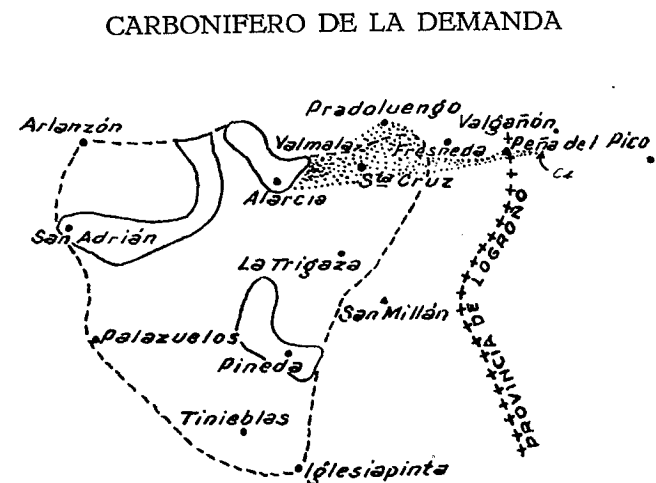


FIGURA 1.—“El Carbonífero de La Demanda en los mapas antiguos y en los modernos.—La línea punteada indica los límites de la zona máxima atribuida al Carbonífero en los mapas antiguos. Las líneas continuas indican los límites de las tres cuencas carboníferas que aparecen en el mapa oficial en vigor (Mapa Geol., 3.ª edic., 1924). La parte sombreada indica la zona adicional que se reputa actualmente como perteneciente al Carbonífero. La topografía varía como en el mapa oficial.”

NORTE

	FORMACIONES	BUZAMIENTOS	ESPESOR
Trías encarnado..	Arenisca y esquisto. Conglomerados...	Aprox. vertical.	Cerca de 120 m.
Carbonífero C ₄	Tan sólo cascajos (a un grado medio de arena) y exposición de aluviones impuros.	(?) concordante con el trías rojo.	< 50 metros.
	Barranco Suterrana		? Discordancia herciniana secundaria.
C _{3s}	Pudingas y esquisto.	Al Sur ↗ 50° ..	< 10 metros.
C _{3d}	Dolomía con cuarcita, también intercalada con pizarras.	Al Sur ↗ 50° ..	C. 35 m.
C _m	Dolomías con cascajos marinos.		
			Discordancia tectónica
C ₂	Arenisca (gruesa) lajosa o cuarcítica, o extraordinariamente impura, con descomposición meteórica elipsoidal. Intercalaciones de gruesas o fisibles pizarras.	Al Sur ↗ 70° ..	C. 80 m.
C ₁	Conglomerados (hasta el estado de guijarros) con intercalaciones de formaciones rajadizas (hasta cierto grosor de arena).		
			Discordancia. Herciniana

FORMACIONES	BUZAMIENTOS
P..... { Viejo Paleozoico (Cambriano o Silu- riano), cuarcitas y pizarras.	Al Noroeste 40°-50°.

SUR

Se han visto restos de plantas indeterminadas, y moldes en diversos puntos: en C_1 , C_2 y C_3 .

Nota.—La Peña del Pico (fig. 1 texto) forma el borde este de C_1 y el límite oriental efectivo de toda la serie. Pero se ha identificado C_3s en el camino de La Demanda, cerca del límite de la provincia (L_2), y algunas areniscas, con restos de plantas indistintas que se encontraron por debajo de los conglomerados triásicos a un kilómetro S.-SO. de Valgañón, se refieren a C_4 . Para las intenciones presentes son de importancia las divisiones de C_3d y de C_m .

En C_3d existen a intervalos dolomías macizas, de un gris oscuro, en la superficie fresca, y de color castaño-crema, en la parte meteorizada. No se hubiera debido hacer omisión de ellas, ya que sobresalen en forma de "mamelones" en las pendientes bajas del valle, marcando la estratificación como en bajorrelieve.

La exposición de C_3d no es muy favorable, y la sucesión no se puede proponer enteramente. Sin embargo, hacia el borde sur (inferior) de C_3d se ha podido recoger en el talud una arenisca de grano fino, conteniendo el molde de un fragmento de *gastropodo*, así como otros moldes indeterminados, indicando fragmentos de corales o de *crinoides*.

Arriba, en el banco izquierdo, a una altura de 1.200 metros y en el camino sur de la dehesa del *Col*, recogió el autor en el sitio K_2 (al punto marcado C_m), un equivalente de esta

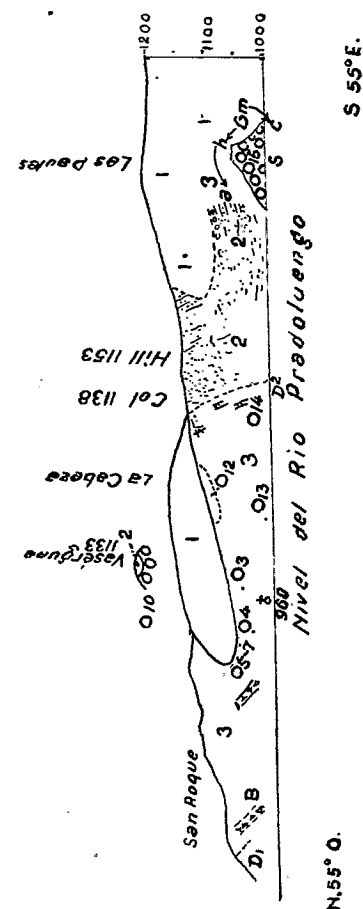


Figura 3.—"Sección panorámica.—Valle del río de Pradoluengo (G_3): (1) Carbonífero. (2) Triásico rojo mostrando una clase de estructura general en forma de silla, con inclinaciones bajas hacia el Norte y Oeste en el "asiento" e inclinaciones escarpadas hacia el Sur-Oeste en el arco de la silla; excesivamente confuso debajo del "arco". (3) Calizas triásicas con claras inclinaciones únicamente en su unión con (2). Trátase posiblemente de otra estructura confusa en forma de "silla". Nótese los tres afloramientos de yeso— G_m , a , b , c —y el manantial salino s , alrededor y debajo de la ofita (O_{15}). G_m , a (ahora cubierto por un desprendimiento o corrimiento de tierras), y c son de margas; b es constituido simplemente por lentejones de yeso. D_1 , "domo" elevándose a 1.015 m.; D_2 , "domo" elevándose a 1.000 m.; B , Brechas; O , Ofita. (En O_{10} , 12 y 15 ; y en pequeños crestones, O_3 , etc.)

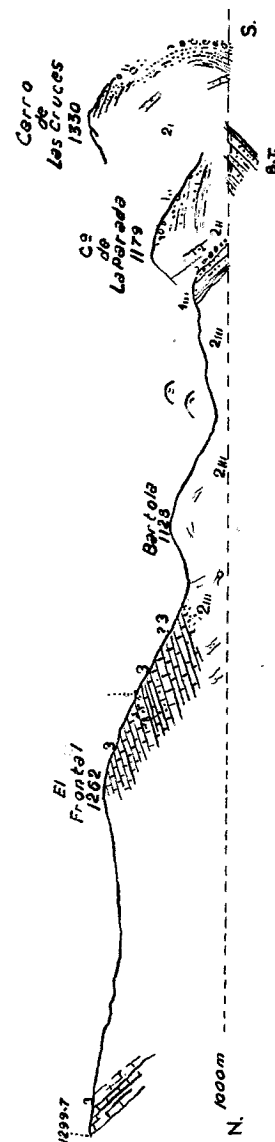


FIGURA 4.—"Norte-Sur: Sección panorámica al este de Fresneda (K_3 y $K-L_2$): (1) Triásico rojo en tres lunas: 1', 1'', 1''', indicando la inversión (conglomerados básicos, areniscas, pizarras en sucesión descendiente). (2) Calizas triásicas, también en lunas: 2', 2'', 2''', emergiendo en dirección Este. (3) Lías con niveles superiores del jurásico). B. T. Triásico básico claramente estratificado con sucesión normal desde las pudingas de la base en sentido ascendente.

arenisca, que contiene numerosos moldes de *crinoides* y otros restos orgánicos, al lado de un fragmento de *gastropodo*. No hay ninguna dolomía allí, pero la situación relativa entre C_2 y C_3s , con representación de ambos, indica los niveles bajos de C_3 .

Por ello resulta seguro que el Carbonífero post-herciniano (Varisc.) del valle del Tirón contiene formaciones marinas, y es posible que una gran parte de C_3d sea marina, ya que moldes de fragmentos de *crinoides* fueron recogidos en dos puntos más del distrito, en unas cuarcitas que bien pueden estar relacionadas con las cuarcitas de la parte superior de C_3d .

La presencia de estas formaciones marinas plantea el problema inmediato respecto de la fecha de los principales movimientos hercinianos en La Demanda, considerados generalmente (por Schriell, 1930, pág. 43), sobre buenas bases *a priori*, como asturianos (entre las fases Westfaliense y Stefaniense).

De ser asturianos los movimientos, en este caso el mar ha debido invadir el distrito en tiempos estefanienses; acaso se les debiera situar en tiempos anteriores (por ejemplo, en la fase sudética, del Prof. Stille).

El Prof. G. Delèpine, de Lila, que ha tenido la amabilidad de examinar algunos de los ejemplares, clasificó la facies petrográfica de C_2 en Fresneda y de su equivalente C_m en Valmala (véanse observaciones al pie de la pág. 43), como del Namuriense inferior, en analogía con el Carbonífero de los Pirineos occidentales franceses (1); y la evidencia paleontológica de Valmala corresponde a esta interpretación. Es, por tanto, probable que los movimientos hercinianos pertenezcan a la fase sudética y que las afinidades tectónicas de La De-

(1) Véase Delèpine: "Le carbonifère du Sud de la France", etcétera. C. R. II Congrès Strat. Carb. Heerlen, 1935, pág. 139 ff., y particularmente la tabla comparativa (pág. 153).

manda equivalgan a las de los Pirineos Centrales y de la Montaña Negra, antes que a la fase asturiana (1).

Las areniscas marinas (Cm) tienen una apariencia característica, formando hoyos, y ofrecen buen apoyo allí donde la tectónica aparece oscura. Pero, fuera de los puntos mencionados, tan sólo han sido identificados en:

a) La parte sur del pequeño isleo de Carbonífero, marcado con Kl_1 , del pliegue de Esquiza (J_2); y b), en la parte norte del manchón marcado Kl_4 , que forma La Cabeza y Pradoluengo (G_3). En este sitio se encontró al lado de la arenisca suelta, y en gran abundancia, en un hoyo (cf. *Fr. oulette*) al borde del Triásico calcáreo (lám. I, fig. 2), una cuarcita con el molde de un fragmento de *crinoide*. Una pieza idéntica ha sido hallada (aunque no *in situ*) al sur de Valmala, en el camino de Cajigal (D_2).

Como las demás formaciones, identificables, que son las de C_1 y C_3d , no están a la vista en el sector entre Fresneda y Santa Cruz, resulta difícil relacionar los diversos asomos en aquel sector con las formaciones de Fresneda. El autor cree, sin embargo, que corresponden a la descripción que sigue.

III.—EL SECTOR DE FRESNEDA-SANTA CRUZ

La estructura (2), con volcadura hacia el Norte, que se ve tanto en el Carbonífero como en el Triásico del valle del Tirón, no se extiende hasta el río Turriozza, sino que antes de alcanzar aquel cauce desaparece abruptamente el Infratriásico rojo.

De manera idéntica, al oeste del distrito, el Triásico rojo que aparece en Valmala en todo su espesor (100 metros) se

(1) Véase la tabla tectónica en H. R. v. Gaertner: "Montagne Noire", etcétera.

(2) La nombra *lunada*.

interrumpe abruptamente al norte de Santa Cruz, en la rama este del río Tirón (río Urbión o Mayor). En opinión del autor, toda el área entre la parte este del Tirón y el Turriozza, pertenece a una sola unidad estructural, prueba de lo cual ofrecen:

- (a) La "ventana" de El Frontal, Pradoluengo (G_3).
- (b) Los cinco testigos tectónicos ("Klippen") de la arruga de Esquiza (Kl_{1-3}), La Cabeza (Kl_4) y Vasérguna (Kl_5).
- (c) Pruebas indirectas y otras.

- (a) La "ventana" de El Frontal (lám. I, fig. 2).

A un kilómetro al sur de la ciudad de Pradoluengo, el valle del río de Pradoluengo se encuentra estrechado por una barra de cerca de 400 metros de ancho, que superficialmente se parece al "Verrou" (1) de un valle glaciar alpino, separando la hondura de San Antonio, río arriba, del largo prado ("prado luengo"), río abajo. En su parte inferior (de 1.000 metros a 1.050 metros en la orilla izquierda, pero de 1.100 metros en la orilla derecha), la barra se compone de Triásico rojo, claramente invertido, con los conglomerados que yacen por encima de la arenisca roja, que allí se explota para las construcciones. Por encima de los conglomerados del Triásico se puede dibujar el Carbonífero en diversos puntos, sobre todo en uno cerca de la cima llana (marcado con X en la lám. I, fig. 2), donde queda expuesta una arenisca, colmada con fragmentos de calamites y restos de plantas y de impresiones, semejante a una arenisca carbonífera, expuesta a unos 1.000 metros de altura, en el camino de Las Ermitas, cerca de Valmala (D_2). Se opina ahora que la inversión visible en esta "ventana" se extiende por todo el sector; en otras palabras: que la "sola unidad estructural" constituye una faja invertida, o sea el miembro inferior (invertido) de un pliegue reclinado. También

(1) Depósito morenico frontal.

se supone que ninguna parte de esta faja sea más antigua que el Carbonífero, o bien dentro del Carbonífero, más antiguo que el Cm. (Atención sobre la posible presencia del Permiano.—P. H. S.)

(b) Los "cinco testigos tectónicos" (lám. II, figs. 1 y 2) Kl₁₋₅ ofrecen una prueba más de la anormalidad y demuestran que ésta se extiende hasta Fresneda.

Kl₁, 2, 3 y 5 forman pequeños óvalos, en los que los ejes mayores son, respectivamente, < 150, 125 y 170 metros, no habiendo duda alguna de que estas formaciones estén como flotando sobre el Triásico calcáreo.

Kl₄ forma un óvalo mucho más grande, cota 850.

En Kl₁ y Kl₄ se ha podido identificar al Cm; Kl₂ y Kl₃ son, sin duda, restos de esquistos y cantos de cuarcita.

Kl₅ es el conglomerado rojo basal del Triás.

(c) Pruebas indirectas y otras.

Ninguno de los geólogos que afirman que el Paleozoico del sector de Fresneda-Santa Cruz es o Cambriano o Siluriano, parecen haberse fijado en el significado de los campos de centeno, en terrenos derivados del Paleozoico; éstos existen desde mucho tiempo en El Centenal ("campos de centeno"), I-J₃, al borde de la hoja hipotética de Fresneda; estos campos han ido extendiéndose poco a poco por las dos laderas del valle de Pradoluengo estos últimos años, y también se les ve en la ladera sur del valle de Arañona (F₂), en la vecindad de Santa Cruz. Ahora bien: yo no conozco ningún caso de cultivos cereales en terreno Cambriano, en cualquier nivel topográfico de la Sierra (aunque el Cambriano desciende hasta los 920 metros cerca de Ezcaray), fuera de los terrenos calcáreos del mesocambriano, que seguramente falta en este distrito. (Afirmación demasiado rotunda después de los fósiles encontrados al SO. de La Demanda.—P. H. S.)

Por tanto, el autor considera estos campos de centeno

como testigo en favor de la identificación del "Paleozoico" de la "faja" como Carbonífero.

Un observador competente, D. Higinio Tendero, de Fresneda, me asegura, además, que a veces se encuentran removidas pizarras carboníferas por los campos de centeno de El Centenal.

IV.—EL CARBONIFERO DE VALMALA

El Carbonífero de Valmala, que siempre ha sido reconocido como tal, viene muy a propósito para nuestro objeto, como ofreciendo una evidente correlación con el recientemente proclamado Carbonífero de Fresneda y de Pradoluengo. Dos casos de una tal correlación han sido mencionados ya; queda todavía tratar de un tercero.

Desde Santa Cruz y hacia el Oeste, hasta más allá de Valmala, el Carbonífero y el Triásico rojo se suceden de manera normal, buizando al Noroeste sobre el frente del macizo. Cerca de Valmala, el Triásico calcáreo entra normalmente en la formación. Sin embargo, en el pueblo mismo, y hasta cierta distancia al Noroeste, vuelve a aparecer el Carbonífero, como infrayacente, en parte, y rodeado por el Triásico calcáreo.

Sánchez Lozano supone que el infrayacente comunica a través de todo el pueblo con la faja carbonífera principal, colocándolo en el Carbonífero inferior, y la faja principal, en el Carbonífero superior, afirmación que convence al autor.

Larrazet no hace mención de ello en su mapa (1896, página 40, fig. 1) en escala muy pequeña, pero habla de este infrayacente en el texto (id., pág. 53), colocándolo especifi-

camente en el Dinantiense marino, sobre la base de: "sediments à *Spirifer* (Schistes et grès)... visibles...; par exemple. 400 m. à l'ouest-nord-ouest de Valmala, sur le tulus gauche de la route de Pradoluengo à Burgos". (Nosotros hemos podido encontrar *braquiópodos* y *fusilinas*.—P. H. S.)

Schriel (1930, pág. 19), dice que, en las repetidas visitas hechas al paraje que nos interesa, no ha podido encontrar sedimentos "calcáreos" (que Larrazet no mencionó) y pone en duda la existencia del Carbonífero marino, deduciendo, a lo que parece, la conclusión (pág. 22) de que todo el Carbonífero de Valmala sea Estefaniense.

El hecho es que una marga "calcárea" está a la vista a unos 1.070 metros de altura en la cumbre del risco que corresponde al infrayacente, y que, juzgando por su posición, pudiera bien pertenecer al Carbonífero. Pero lo que resulta más notable es que se encuentran sedimentos "marinos", preciosamente expuestos, en el sitio preciso que indica Larrazet, y donde yo he podido recoger, a unos 1.000 metros:

1. Un *pleurotomarido*, probablemente *Baylea* sp., de los que abundan moldes internos (B. M. N. H., PG 802-14, 816-820).
2. *Aviculopecten* sp. en abundancia (B. M. N. H., PL. 364-375).
3. Un *Orthotetinido*, de aspecto paleozoico (B. M. N. H., BB. 6.362).
4. ? *Meekella* sp. (B. M. N. H., BB. 6.361).
5. *Posidoniella* sp. (B. M. N. H., PL. 376).
6. *Proschizodus* sp. (B. M. N. H., PL. 377-8).
7. *Murchisonia* sp. (B. M. N. H., PG. 815).

El Prof. Delèpine cita estas formaciones también como de la facies del Namuriense inferior, y las mismas no pueden tener más edad si la identificación de *Meekella* resulta ser cierta.

Las formaciones marinas se encuentran aquí (1) cubiertas por la cuarcita, y luego, a escaso intervalo, por dolomías idénticas por su apariencia y su modo de descomponerse con las dolomías de C₃d, de Fresneda. Se repiten éstas a intervalos, con intercalaciones de depósitos esquistosos, colmados por restos de plantas y huellas, hasta una altura por lo menos 1.065 metros, en el camino del Horcajo (C₂, fig. 2) (2). Ello habla fuertemente en pro de una correlación entre gran parte del infrayacente con el Cm y el C₃d de Fresneda.

V.—LA "HOJA INVERTIDA"

Con el fin de evitar equivocaciones, es conveniente aclarar dos puntos: respecto de la mala interpretación del mapa (figura texto núm. 2), y otro punto referente a la nomenclatura empleada.

a) La asociación con la "hoja invertida" de los asomos de roca ígnea intrusiva (3), marcada con O₁₋₃₂ en la figura 2 del texto, es tan obvia que uno llega a la tentación de suponer que se trata de una relación directa, sobre todo considerando que no se han encontrado tales asomos al oeste de Santa Cruz, donde las fuerzas tectónicas seguramente tuvieron débil actuación.

Ello coincidiría con el punto de vista español ortodoxo, a saber: que la importancia de tales rocas (ausentes donde

(1) Estas acaso se pudieran identificar mejor como parálicas (es decir, oscilando entre marinas y continentales), ya que incluyen, por lo menos, un lecho de restos de plantas.

(2) En una dirección transversal a todos los buzamientos observables.

(3) El espesor de esta serie parece ser considerable (150-200 m.), que son doleritas ofíticas de olivino (Sp. ofitas), más o menos alteradas, especialmente por serpentización. No hay razones petrográficas para creer que sean de más de una época.

el Triásico muestra solamente un ligero trastorno) varía con la intensidad de las fuerzas operantes (véase P. Palacios: "Ofitas de la provincia de Navarra". *Bol. Com. Mapa Geológico de España*, tomo XXXII, 1897, pág. 245 f.), lo que sería equivalente a atribuirles la edad terciaria (cf. Larrazet, 1896, el que, en la página 73, las llama "postoligocenas").

Sin embargo, la asociación de que se trata puede ser secundaria y no directa, y debe ser secundaria si el punto de vista de la escuela de Stille es correcto. Esta escuela asocia las ofitas con el desarrollo de las condiciones geosinclinales alpinas, predominando en España durante el Triásico sobre áreas que más tarde quedaron situadas bastante fuera de los límites del geosinclinal alpino (1). De ser estas áreas también las de mayor trastorno durante el período terciario, resultaría una asociación secundaria de las ofitas con algunas unidades tectónicas del Terciario.

Respecto al distrito Fresneda-Pradoluengo, no se puede precisar la edad de las intrusiones. En el límite superior de O_{12} y en el borde Este de O_{15} (G_8 , $G-H_3$), parece que las ofitas penetran en el Carbonífero, lo que de confirmarse evitaría esa duda. Pero, muy a pesar mío (autor), tuve que convencerme de que la apariencia no correspondía a la realidad.

b) Aunque se haya descrito a los vértices carboníferos de las colinas, Kl_{1-5} , como "testigos tectónicos" de la "hoja invertida", no se puede deducir por ello que su relación con esa hoja, o entre ellos mismos, sea tan sencilla y directa como lo pudiera sugerir una ojeada al mapa. No creo, por ejemplo, que Kl_4 (La Cabeza) pudiera ser asociado inmediatamente al Triásico rojo de Kl_5 hacia el Norte, o bien al Col 1.138 hacia

(1) Véase R. Brinkmann: "Betikum und Keltiberikum al Sud-Este de España". *Abh. Ges. Wiss. Goettingen, Math.-Phys.*, Kl. III F, 1, 1931. o bien: "Beiträge Geol. westl.", Mdet 7, pág. 74 y fig. 23.

el Sur, o, en igual sentido, al Carbonífero de Los Paúles (1), que sigue al Triásico rojo en dirección Sudeste. En otras palabras, los movimientos de deslizamiento dentro de la hoja—que necesariamente hay que tener en cuenta si se quiere explicar el contacto directo del Carbonífero con el Triás calizo—constituyen movimientos complejos que probablemente aparecen en más de un nivel estratigráfico.

(N. B.—La curvatura de debajo de la superficie del Carbonífero de Azordia y de la cresta rocosa de Esquisa (J_2), que en la lámina II, figura 1, se indica por puntos nivelados, demuestra que las superficies de deslizamiento no son necesariamente planas.)

c) Con fines descriptivos se utilizaron más adelante ciertos términos, como: "hoja", "ventana", "Klipper", que tienen sentido metafórico a los de la tectónica alpina. Este uso metafórico lo justifica el vigor de las fuerzas tectónicas operantes, siempre dentro del tipo celtibérico (2), dando una competente tangencial inusitadamente grande al movimiento fundamental del plegamiento o de empuje, y atribuyendo una parte también muy importante a la modificación de estos movimientos, operando en formaciones móviles (principalmente en el Triásico salino).

Para las estructuras en las que las formaciones móviles tienen tal papel modificador, el Prof. Stille emplea el término general de "stock-werktenktonik" (tectónica de redes), y la categoría ha sido subdividida de acuerdo con el relativo espesor o rigidez de las rocas de diferentes edades en relación. La

(1) Donde las cuarcitas, además, no me parecen estar en su sitio estratigráficamente; en la ancha espalda de la cresta rocosa se extienden masas de brecha cuarcítica reconsolidada; en la vertiente hacia el río Pradoluengo hay un risco cuarcítico de nueve pies de altura, reposando sobre esquistos como un bloque colgado.

(2) Término utilizado por el Prof. Stille para un tipo intermedio entre el Alpino y el Sajón (del Foreland Norte-Europeo).

estructura en cuestión tiene la particularidad, única en el área celtibérica, de tener la apariencia de un gran "paquete" de Carbonífero al lado del Mesozoico, demostrando también un grado relativamente alto de concentración en el Triásico salino, que forma "domes" (cúpulas), y dando una gran componente vertical a la acción "diapírica" (1). A causa de estas dos razones se le puede considerar como cosa extraordinaria.

VI.—LAS CUPULAS SALINAS ("SALINE DOMES")

Tres concentraciones de yeso y de margas yesíferas quedan marcadas en la figura 2 del texto por los símbolos D_{1-3} .

En D_1 se expone un cono de yeso y de andrihita, al final de los crestones de San Roque (G_3), con una profundidad de 60 metros y un diámetro básico de cerca de 100 metros.

En D_2 se puede ver una masa de yeso, por debajo de la cual se encuentra una concentración grande de margas (de color verde-té, verde-amarillo, gris-acero y blanco), explotada para suministrar material a las fábricas de Pradoluengo. Al otro lado de la "ventana" se asoman margas yesíferas en varios sitios alrededor de O_{15} , y la fuente que surge por debajo de O_{15} es de agua salina (figura texto 2). Se me ocurre pensar que toda la estructura de la "ventana", así como el levantamiento que invade el Carbonífero del crestón, dependen de la acción "diapírica" del material salino que se encuentra por debajo.

En D_3 , en Azordia (J_2), se encuentran grandes cantidades de yeso por debajo de Kl_3 . Y también aparece esporádicamente en abundancia hacia el Norte y Sur de todas las arru-

(1) Término tomado del francés. Véase M. Gignoux: "Tectonique des Terrains Salifères", *Liv. Jub. Soc. Géol. France*, 1930.

gas rocosas de Esquisa, y a alguna distancia del margen de la "hoja", en Carecia y Oticuarana (13), en el segundo C de Carecia y en el sitio "I" de Oticuarana (fig. texto 2), pero ya no se aprecian más allá, en dirección Noroeste.

VII.—PROBLEMAS PENDIENTES

Se puede comprender la tectónica del sector que interesa, si se acepta el principio general respecto del movimiento que exteriormente se dirige desde un macizo herciniano hacia una cuenca terciaria formando límite. (Para una serie de secciones que demuestran movimientos de intensidad variable en el borde mesozoico de la meseta dirigido hacia la cuenca del Ebro. Véase G. Richter: "Die iberischen Ketten, entre Jalón y Demanda", *Abh. Ges. Wiss. Goettingen, Math-Phys.*, Kl. N. F., XVI, 1930, o bien: "Beitr. Geol. westl. Medit.", 5, figuras 12 (página 91), 14 (pág. 94), 18 (pág. 101) y 19 (pág. 105).

Pero la estructura (la tectónica en su detalle) queda en muchos sitios extremadamente embrollada, aun después de que la acción "diapírica" haya sido invocada libremente. He aquí alguno de los enigmas que se ofrecen.

1) No se sabe dónde ni cómo la "hoja invertida" ha tomado "raíz". En dirección de la supuesta "raíz", un carbonífero débilmente metafórico se encuentra en contacto con un cambriano de índole parecida, es difícil el modo de distinguir el uno del otro. Tampoco se conoce la relación lateral que existe entre la "hoja" y la estructura *lunada* hacia el Este.

2) En la estructura indicada como "lunada", el Triásico rojo (completo) que alterna con el Triásico calcáreo (parcial) se repite dos veces en forma de arcos que se estrechan en dirección Norte.

En la primera repetición (R. T. II, figs. del texto 2 y 2b) la volcadura es la más acentuada, formando conglomerados

sub-horizontales y areniscas en la parte superior del cerro de la Parada (1.179), para luego apartarse de allí estructurando una media cúpula. Pero esta media cúpula se encuentra inmediatamente por encima de otra sucesión de lechos de rojo Triásico, muy bien situados, en yacimiento *normal*, con fuerte inclinación hacia el Nordeste, en *ángulo recto con el buzamiento del Triásico volcado*. El río Tirón pasa longitudinalmente a través de las areniscas de esta sucesión, que se ve claramente expuesta en las dos orillas. No sabré dar explicación alguna acerca de este contacto tan extraordinario.

3) La posición del Liásico de El Frontal, de Fresneda (K_3), con yacimiento *normal*, y con buzamiento moderado hacia el Norte, seguramente situado por encima de un Triásico calcáreo fuertemente transtornado, no puede considerarse como enigmática, ya que ilustra un principio adoptado por la escuela de Stille, según el cual diversas estructuras se desarrollan, en ciertas circunstancias, en formaciones que se encuentren por encima y por debajo, respectivamente, del Triásico móvil. (Véase H. Karrenberg: "Die post-variscische Entwicklung des Cantabroasturischen Gebirges" ("El desenvolvimiento post-variscico de la montaña cántabro-asturiana"), *Abh. Ges. Wiss. Goettingen, Math-Phys.*, Kl. III F, 11, 1934, o bien: "Beitr. Geol. westl. Medit.", 12, página 64 ff.)

Ahora bien: la situación del Jurásico en las crestas rocosas de Cúriel-Yezcua (F_3), de Pradoluengo, forma un completo enigma, y pudiera dar lugar a largas discusiones. Los hechos que hay que tener en cuenta son los siguientes:

Hacia el Sur, el Jurásico se encuentra separado del Carbonífero por una estrecha faja de margas yesosas (1).

(1) A éstas las he marcado con O_2 , basándome en la autoridad segura de Sánchez Lozano. El trigo crecido por encima impedía ver algún asomo.

En dirección Oeste, dos de sus secciones buzan en pendiente, para pasar por debajo de lo que parece ser Triásico calcáreo, a continuación del yacimiento normal del Triásico calcáreo, situado al Oeste del río Urbión. Al Este se encuentran D_1 atravesando el río de Pradoluengo, y más allá, en las crestas de San Roque, se pueden ver guijarros de indudable naturaleza liásica, aunque yo no haya encontrado ningún liásico en el sitio indicado. En los mismos crestones de Cúriel-Yezcua, los fósiles recogidos varían en edad entre el Liásico Inferior y el Caloviense. Sin embargo, se recogieron pocos fósiles *en situ*, y no es seguro que el Jurásico no esté volcado. Los crestones se dividen en tres secciones, en ángulo recto unos con otros, que ilustran admirablemente las dificultades con que tiene que luchar el geólogo en este distrito.

El autor termina diciendo: "Deseo expresar mi agradecimiento a las muchas personas que me asistieron en mi trabajo, de una manera que excede los límites aparentes del presente artículo: al Sr. Lorenzo Ortiz y sus colaboradores, que amablemente me sometieron material inédito de los Archivos del Instituto Geográfico, de Madrid; al Dr. L. F. Spath, Doctor L. R. Cox; Mr. L. Bairstow, Dr. H. M. Muir-Wood, Doctor K. P. Oakley y Mr. W. Campbell Smith y colaboradores, todos del British Museum; Mr. F. W. Anderson, antes del University College, de Southampton, por haberme ofrecido la hospitalidad de su laboratorio; al Prof. G. Delèpine, de Lille, y Mr. E. E. L. Dixon, antes del Servicio Geológico, por sus muchos consejos de experto; pero, y sobre todo, al Doctor H. Dighton Thomas, sin cuyo amable estímulo desde el año 1930, mi trabajo hubiera quedado abandonado hace mucho tiempo. Todo el mérito que esta nota pudiera tener es debido enteramente a las personas mencionadas. Yo solamente me hago responsable de los errores que pudiera tener."

BIBLIOGRAFIA

- 1932.—AITKEN (R.).—"Datos geológicos sobre el norte de La Demanda".
Boletín Soc. Esp. Hist. Nat., tomo XXXII, pág. 309 f.
- 1896.—LARRAZET (A.).—"Recherches géologiques sur la région orientale
de la province de Burgos", etc. (Thèse présentée à la Faculté
des Sciences de Paris.) With copious bibliography, pág. 5 ff.
- 1918.—SÁNCHEZ LOZANO (R.).—"Datos para el estudio de la región hullera
de la provincia de Burgos". *Bol. Inst. Geol. Esp.*, tomo XXXIX,
página 145 ff., with map facing, pág. 164.
- 1930.—SCHRIEL (X.).—"Die Sierra de La Demanda", etc. *Abh. Ges. Wiss.
Göttingen, Math.-Phys.*, Kl., N. F., XVI, 2; or *Beiträge Geol.
Westl. Mediterran.*, 4.

LAMINA I

FIGURA 1.—Sección valle del Tirón, al sur de Fresneda (K-L₂), vista desde la orilla Oeste, en c. 1.190 m.—Foto R. A.—Enseña las laderas al Este del terreno carbonífero: 1', formando el risco que se eleva a 1.330 m., y 2', terreno cultivado. En la parte atrás: izquierda, loma de San Quílez (Triásico); derecha, el paleozoico viejo (Cambriano) del macizo montañoso.

FIGURA 2.—El Frontal, Pradoluengo, con la parte occidental del triás rojo, “ventana” vista desde el Noroeste (G₃).—Foto Froilán G. Román, Pradoluengo.—En la parte atrás, el paleozoico viejo (Cambriano) del macizo montañoso. En la parte delantera, pueblo de Pradoluengo y praderas. Derecha: Carbonífero de la “Hoja invertida”. Izquierda, Triásico calcáreo.

LAMINA I

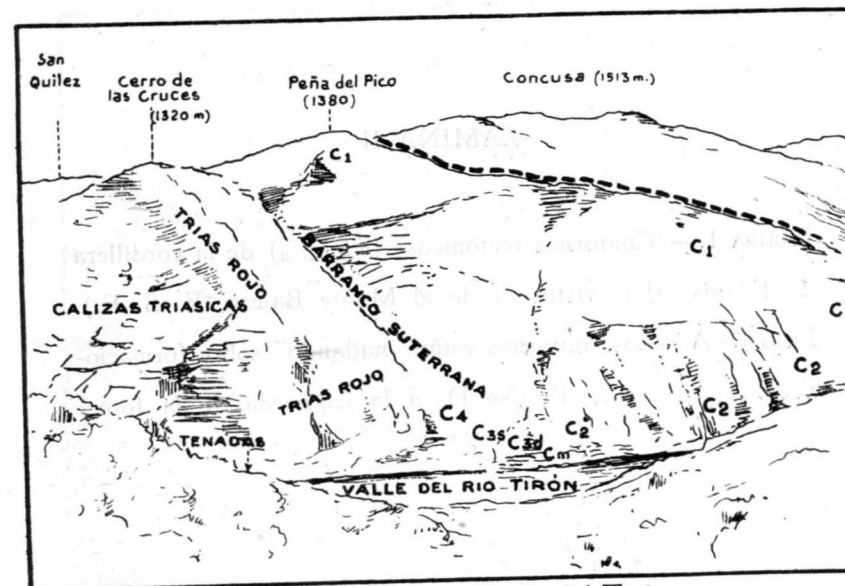


FIG. 1.—Corte por el valle del Tirón.

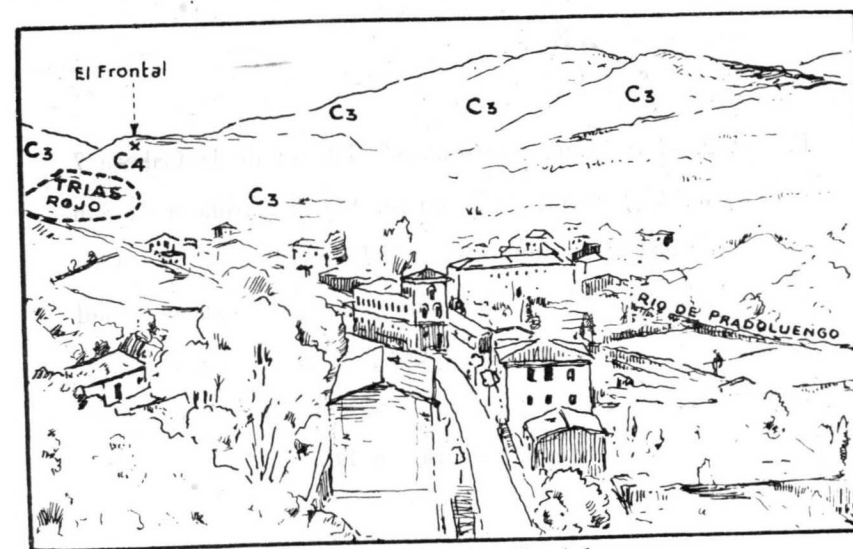


FIG. 2.—El Frontal.—Pradoluengo.

LAMINA II

FIGURA 1.—“Contornos tectónicos” ($Kl_1, 2, 3$) de la cordillera de Esquiza (J_2), vistos desde el Monte Bajero (E. S. E.).
Foto R. A.—Los contornos están “nadando” sobre formaciones muy yesíferas. (Véase D_3 a la izquierda de la foto.)

FIGURA 2.—Las “Líneas tectónicas” ($Kl_4, 5$) de la Cabeza 7 Vasérguna (G_3), vistas desde un pico de la cordillera de San Roque, a 1.051 m., mirando hacia el Este.—Foto R. A.—Obsérvense las ofitas O_7-10 . Hay muy poco yeso en la vecindad inmediata de las estribaciones, pero toda la cordillera de San Roque es más o menos yesífera, y termina el yesífero detrás de la cámara, en D_1 .

LAMINA II

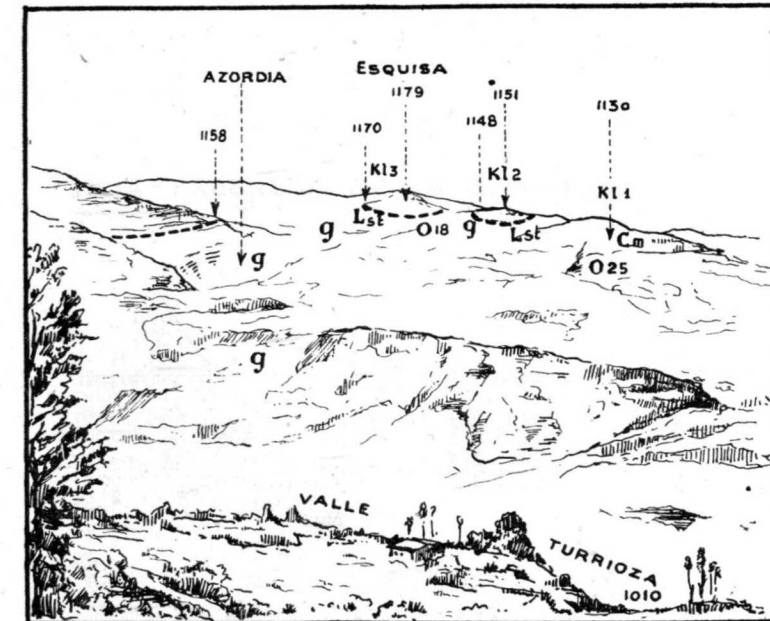


FIG. 1.—Esquema tectónico del pliegue de Esquiza.

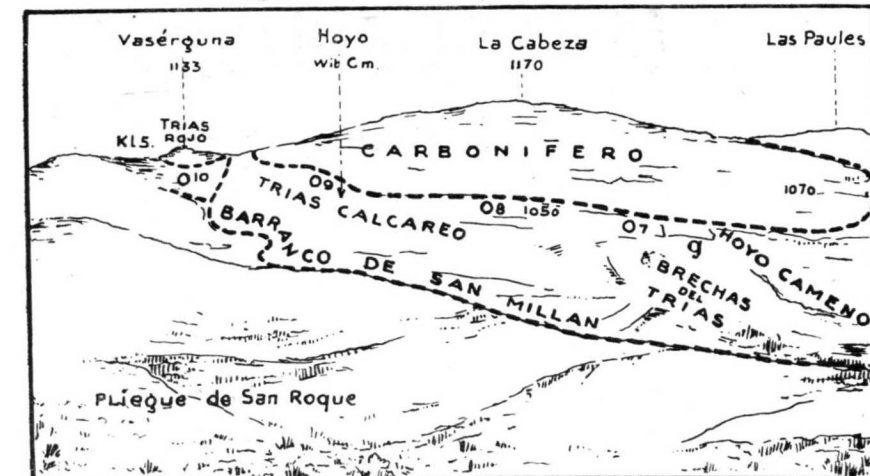


FIG. 2.—Esquema tectónico de La Cabeza y Vasérguna.

ESTUDIO SOBRE LOS "SCHLAMMS"
DEL LAVADERO
DE LA S. A. MINERO-SIDERURGICA
DE PONFERRADA

POR
J. CASTELLS

J. CASTELLS

ESTUDIO SOBRE LOS "SCHLAMMS"
DEL LAVADERO
DE LA S. A. MINERO-SIDERURGICA
DE PONFERRADA

Exponemos a continuación los resultados de las investigaciones llevadas a cabo sobre los "schlamms" del lavadero de la S. A. Minero-Siderúrgica de Ponferrada, por encargo de dicha Empresa y con el fin de estudiar la conveniencia de llevar a cabo una preparación mecánica más avanzada de dichos productos.

Fueron recibidas, para su estudio, dos muestras de "schlamms", numeradas 1 y 2, con la indicación de hullas grasas y semigrasas.

Con objeto de identificarlas, se procedió a realizar el análisis inmediato de cada una de ambas muestras, después de desecadas al aire, con los resultados siguientes:

Muestra núm. 1:

Cenizas	25,5 %
Coque (bien aglomerado).....	83,5 %
Materias volátiles.....	16,7 %
Idem del carbón limpio.....	22,4 %

Muestra núm. 2:

Cenizas	21,7 %
Coque (pulverulento).....	87,7 %
Materias volátiles.....	12,4 %
Idem del carbón limpio.....	15,6 %

El fraccionamiento de las muestras en los tamaños previstos para el estudio de componentes petrográficos, 0,4-0,5 milímetros, 0,3-0,4 mm., 0,2-0,3 mm., 0,1-0,2 mm. y menos de 0,1 mm., dió los resultados siguientes:

Muestra núm. 1:

Tamaño 0,4-0,5 mm.	20,5 %
— 0,3-0,4 mm.	15,5 %
— 0,2-0,3 mm.	18,0 %
— 0,1-0,2 mm.	18,5 %
— 0-0,1 mm.	27,5 %

Muestra núm. 2:

Tamaño 0,4-0,5 mm.	20,8 %
— 0,3-0,4 mm.	10,0 %
— 0,2-0,3 mm.	25,0 %
— 0,1-0,2 mm.	13,0 %
— 0-0,1 mm.	31,2 %

Siguiendo el método de Stach, antes de preparar las probetas para el estudio microscópico procedimos a separar los estériles, considerando como tales los componentes que no flotan en un líquido de densidad 1,9 (pizarras y pirita, principalmente). Los resultados de la separación fueron los siguientes:

FRACCIONES	M U E S T R A S			
	Núm. 1		Núm. 2	
	$d < 1,9$	$d > 1,9$	$d < 1,9$	$d > 1,9$
	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100
0,4-0,5 mm.	80,4	19,6	83,3	16,5
0,3-0,4 mm.	81,8	18,2	84,5	15,6
0,2-0,3 mm.	83,2	17,8	85,3	14,7
0,1-0,2 mm.	85,9	14,1	88,1	11,9
0-0,1 mm.	92,5	7,5	89,2	10,8

Como era de esperar, en ambas muestras disminuye progresivamente la proporción de estériles a medida que dismi-

nuye el tamaño de la fracción, ya que las pizarras se pulverizan más difícilmente que los componentes fundamentales de las hullas. Se comprende, pues, que una preparación mecánica llevada más lejos permite mejorar la calidad (en cuanto a cenizas se refiere) al menos de las fracciones superiores a 0,1 mm., particularmente en la muestra número 1.

COMPOSICION PETROGRAFICA DE LAS DISTINTAS FRACCIONES

El estudio microscópico de las preparaciones realizadas en las distintas fracciones arrojó los resultados siguientes:

COMPONENTES	Indices	Densidades	Núms. Gravmtr.	Composi- ción
Muestra núm. 1: 0,4-0,5 mm.				
Vitrita	37,47	1,3	48,71	46,7 %
Clarita	8,59	1,3	11,17	10,7 %
Durita	3,26	1,35	4,40	4,2 %
Semifusita	1,89	1,35	2,55	2,5 %
Fusita	0,68	1,5	1,02	1,0 %
Pizarra carbonosa	10,51	1,55	16,29	15,6 %
Estériles	»	> 1,9	»	19,3 %
				100
Muestra núm. 2: 0,3-0,4 mm.				
Vitrita	28,76	1,3	37,38	48,7 %
Clarita	5,51	1,3	7,16	9,5 %
Durita	2,36	1,35	3,19	4,0 %
Semifusita	1,02	1,35	1,38	1,8 %
Fusita	1,19	1,5	1,79	2,3 %
Pizarra carbonosa	7,60	1,55	11,78	15,5 %
Estériles	»	> 1,9	»	18,2 %
				100
Muestra núm. 1: 0,2-0,3 mm.				
Vitrita	23,29	1,3	30,3	40,9 %
Clarita	8,26	1,3	10,7	14,5 %
Durita	2,44	1,35	8,5	11,5 %
Semifusita	0,23	1,35	0,3	0,4 %
Fusita	1,07	1,5	1,6	2,2 %
Pizarra carbonosa	6,03	1,55	0,4	12,7 %
Estériles	»	> 1,9	»	17,8 %
				100

COMPONENTES	Indices	Densidades	Núms. Gravimetr.	Composi- ción
Muestra núm. 1: 0,1-0,2 mm.				
Vitrita	24,66	1,3	32,1	40,2 %
Clarita	10,83	1,3	14,1	17,7 %
Durita	4,79	1,35	6,5	8,1 %
Semifusita	0,57	1,35	0,8	1,0 %
Fusita	0,49	1,5	0,7	0,9 %
Pizarra carbonosa	9,26	1,55	14,4	18,0 %
Estériles	»	> 1,9	»	14,1 %
				100
Muestra núm. 1: 0-0,1 mm.				
Vitrita	25,65	1,3	33,34	51,4 %
Clarita	4,91	1,3	6,38	9,9 %
Durita	1,63	1,35	2,2	3,5 %
Semifusita	1,70	1,35	2,29	3,7 %
Fusita	0,63	1,5	0,94	1,6 %
Pizarra carbonosa	9,40	1,55	14,57	22,6 %
Estériles	»	> 1,9	»	7,5 %
				100
Muestra núm. 2: 0,4-0,5 mm.				
Vitrita	47,26	1,3	61,44	53,5 %
Attritus	13,34	1,35	18,01	15,5 %
Semifusita	1,66	1,35	3,24	2,8 %
Fusita	0,19	1,5	0,28	0,2 %
Pizarra carbonosa	8,66	1,55	13,42	11,5 %
Estériles	»	> 1,9	»	16,5 %
				100
Muestra núm. 2: 0,3-0,4 mm.				
Vitrita	35,06	1,3	45,6	52,1 %
Attritus	11,33	1,35	15,3	15,9 %
Semifusita	1,86	1,35	2,5	2,7 %
Fusita	0,36	1,5	0,5	0,3 %
Pizarra carbonosa	10,37	1,55	16,1	13,5 %
Estériles	»	> 1,9	»	15,5 %
				100
Muestra núm. 2: 0,2-0,3 mm.				
Vitrita	28,88	1,3	37,6	48,6 %
Attritus	7,24	1,35	9,4	13,6 %
Semifusita	0,52	1,35	0,7	2,6 %
Fusita	0,13	1,5	0,2	0,5 %
Pizarra carbonosa	7,00	1,55	9,1	17,3 %
Estériles	»	> 1,9	»	14,7 %
				100

COMPONENTES	Indices	Densidades	Núms. Gravimetr.	Composi- ción
Muestra núm. 2: 0,1-0,2 mm.				
Vitrita	28,93	1,3	37,6	48,2 %
Attritus	9,44	1,35	12,7	16,3 %
Semifusita	1,54	1,35	2,1	2,6 %
Fusita	0,26	1,5	0,5	0,6 %
Pizarra carbonosa	10,32	1,55	15,9	20,4 %
Estériles	»	> 1,9	»	11,9 %
				100
Vitrita	18,43	1,3	24,0	46,7 %
Attritus	6,13	1,35	8,3	16,3 %
Semifusita	0,43	1,35	0,6	1,2 %
Fusita	0,18	1,5	0,3	0,6 %
Pizarra carbonosa	8,15	1,55	12,6	24,4 %
Estériles	»	> 1,9	»	10,8 %
				100

Resumimos a continuación los resultados del análisis en un cuadro comparativo, con objeto de poner en evidencia las observaciones y conclusiones que siguen:

COMPONENTES	F R A C C I O N E S				
	0,4-0,5 mm.	0,3-0,4 mm.	0,2-0,3 mm.	0,1-0,2 mm.	0,0-0,1 mm.
	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100	Por 100
Muestra núm. 1 (hulla grasa)					
Vitrita	46,7	48,7	40,9	40,2	51,4
Clarita	10,7	9,5	14,1	17,7	9,9
Durita	4,2	4,0	11,5	8,1	3,5
Semifusita	2,5	1,8	0,4	1,0	3,7
Fusita	1,0	2,3	2,2	0,9	1,6
Pizarra carbonosa	15,6	15,5	12,7	18,0	22,6
Estériles	19,3	18,2	17,8	14,1	7,5
Muestra núm. 2 (hulla semigrasa)					
Vitrita	53,5	52,1	48,6	48,2	46,7
Attritus	15,5	15,9	16,3	16,3	16,3
Semifusita	2,8	2,7	2,6	2,6	1,2
Fusita	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6
Pizarra carbonosa	11,5	13,5	17,3	20,4	24,4
Estériles	16,5	15,5	14,7	11,9	10,8

OBSERVACIONES DEDUCIDAS DEL EXAMEN MICROSCÓPICO

1.^a El examen microscópico de las muestras permite reconocer inmediatamente que ambos "schlamms" son mezclas de hullas de distintas calidades, lo que ya se me hizo notar al envío de las muestras. Ahora bien: así como en la muestra número 2, dentro de estas diferencias, existe relativa homogeneidad, pues, salvo algún grano aislado de hulla antracitosa, el conjunto es una mezcla de hullas semigrasas, entre las cuales no parece haber diferencias importantes de contenido en materias volátiles, en cambio, en la muestra número 1 el aspecto de la cuestión es completamente distinto. Aunque por los resultados del análisis químico puedan calificarse estos "schlamms" como de hullas grasas, en realidad se trata de una mezcla en la que, al lado de hullas grasas propiamente dichas, se observa la procedencia en proporción importante de hullas semigrasas no muy distintas de las contenidas en la muestra número 2. Esta heterogeneidad en las características de los componentes de la mezcla es causa, sin duda, de que no pueda apreciarse una ley definida de variación de los porcentajes de los distintos componentes en las diversas fracciones, que es, en cambio, clara y patente en la muestra número 2.

2.^a El contenido en fusita y semifusita (elementos de tránsito) de ambas muestras es poco importante, algo mayor en la muestra número 1, pero en ningún caso tan importante que pueda influir desfavorablemente en las características del carbón (poder aglutinante, poder calorífero, cenizas) ni aun en las fracciones con mayor contenido. Las mejores hullas grasas de la cuenca del Rhur (la capa "Otto", por ejemplo) acusan contenidos en fusita y semifusita del orden de 1,9 y 4,5 por 100, respectivamente; es decir, mayor en conjunto del que se aprecia en las fracciones de tamaño mayor de 0,1 milí-

metro de la muestra número 1. Desde el punto de vista del contenido en fusita y semifusita, estas hullas pueden considerarse limpias.

3.^a No hemos realizado determinación química del contenido en azufre, pero de la observación microscópica se deduce que el contenido en pirita (marcasita), finamente dividida en los lechos vitríticos y de imposible separación por consiguiente, no es mayor de lo corriente en esta clase de hullas.

4.^a El componente desfavorable más importante de estas muestras es la pizarra carbonosa o carbón emborrascado, que aparece en ambas muestras en proporción crecida y es (aparte de los estériles) el principal soporte del elevado contenido en cenizas de estos "schlamms".

Sin que la ley de crecimiento del porcentaje de pizarras carbonosas en las distintas fracciones presente en la muestra número 1 la regularidad que se aprecia en la muestra número 2, se observa, sin embargo, aumento de pizarras carbonosas en la fracción 0,01 mm., debido probablemente a que la pizarra es más friable que los otros componentes. Pero, además del aumento porcentual, la pizarra carbonosa en las fracciones más pequeñas es más rica en cenizas que en las fracciones gruesas, como consecuencia de la misma estructura microscópica. En definitiva, el contenido en cenizas intrínsecas aumenta a medida que disminuye el tamaño de los granos.

5.^a Aunque esta observación no esté más que insuficientemente fundamentada, toda vez que no hemos tenido ocasión de estudiar al microscopio las capas mismas de que los "schlamms" proceden, sino tan sólo granos de tamaño máximo de 0,5 mm., resultado ya de una selección mecánica, puede apreciarse en los lechos vitríticos el efecto de intensas influencias tectónicas, que hacen que la vitrita aparezca atravesada por innumerables cruceros.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO EN VISTA A LA ULTERIOR
PREPARACIÓN MECÁNICA

Como decíamos en las observaciones que anteceden, la heterogeneidad de los carbones que integran estos "schlamms" aconseja en primer término revisar las capas clasificadas como hullas grasas y que son tratadas en este conjunto, pues ello permitiría probablemente mejorar la calidad del coque que pudiera obtenerse de estos "schlamms". Es indudable que puede obtenerse buen coque con mezclas bien seleccionadas de hullas de distintos contenidos de materias volátiles, pero ello debe hacerse, naturalmente, sobre la base del conocimiento exacto de las características de las hullas que intervienen en la mezcla.

El tratamiento ulterior de estos "schlamms" permitiría, a nuestro juicio, mejorar sensiblemente su calidad. Cabe eliminar en parte muy importante el estéril que acompaña a las fracciones más gruesas, y que representa un porcentaje importante, casi el 20 por 100 en la fracción más gruesa. Podría reducirse también el contenido en pizarra carbonosa, dada la diferencia de densidades entre ésta (1,55) y la vitrita (1,3). En todo caso, el tratamiento sólo tendría probablemente utilidad práctica en la fracción 0,1-0,5 mm., pues en la fracción menor de 0,1 mm. parece difícil rebajar las cenizas en proporción importante sin grandes pérdidas de lavado.

Como ya hicimos notar en las observaciones, el contenido en fusita y semifusita (elementos inertes en la coquización) no constituye problema, dada la proporción tan pequeña en que figuran.

**NOTA SOBRE UNA VETA DE CARBON
ANOMALO HALLADO EN LA CAPA 41
DEL GRUPO «URBIES» DE
HULLERAS DE TURON**

POR

JOSE CASTELLS Y SERAFIN DE LA CONCHA

INGENIEROS DE MINAS

JOSE CASTELLS Y SERAFIN DE LA CONCHA

INGENIEROS DE MINAS

NOTA SOBRE UNA VETA DE CARBON
ANOMALO HALLADO EN LA CAPA 41
DEL GRUPO «URBIES» DE
HULLERAS DE TURON

Hace algún tiempo fué enviada al Laboratorio de Combustibles del Instituto Geológico y Minero de España, para su estudio, una muestra de carbón extraída de una veta de la capa 41 del paquete “Generalas”, que explota la Sociedad Hulleras de Turón dentro del grupo “Urbies”, carbón cuyo aspecto difiere notablemente del de la hulla normal de aquella capa.

El análisis de dicha muestra arrojó los resultados siguientes:

Humedad	0,35	por 100
Cenizas	12,30	—
Materias volátiles	29,85	—
Carbono fijo.....	57,50	—
Azufre volátil.....	1,02	—
Azufre de las cenizas.....	0,74	—
Azufre total.....	1,76	—
Poder calorífico.....	7.550	calorías

Se llevó a cabo también un ensayo de destilación a 500° C de este carbón, con el siguiente resultado:

Agua	1,20	por 100.
Aceites	16 82	—
Semicoque	72,72	—
Gas y pérdidas.....	9,26	—
Solubilidad en S ₂ C.....	4,15	—

El gran rendimiento en aceites y el aspecto externo de la muestra, carbón mate sin textura macroscópica y de fractura concoidea (ver la fotografía núm. 2) nos hicieron pensar *a priori* que se trataba de un *cannelcoal*, y como quiera que esta clase de carbón no se había encontrado hasta entonces en la zona de que las muestras procedían (según nuestras noticias al menos), decidimos pedir datos más completos acerca del hallazgo, así como nuevas muestras, tanto del carbón anómalo como de las vetas normales de la capa misma, con objeto de realizar un estudio más detallado del problema.

Atendiendo a nuestro requerimiento, el Ingeniero de la Sociedad D. Antonio Vega de Seoane nos envió un plano de situación del grupo "Urbies", un corte estratigráfico del paquete "Generalas", un plano del desarrollo ideal de la capa 41 en la zona explotada desde el piso segundo, en que se señalan las partes en que se encontró hasta ahora la veta anómala, y un corte de la capa 41, en el que se advierte la importancia y situación de tal veta, planos todos que acompañan al presente trabajo.

El Sr. Vega de Seoane nos remitió igualmente muestras de los distintos lechos que integran la capa 41 en la zona de las anomalías, que nos han servido para realizar los ensayos y observaciones tema del presente trabajo. Por todo ello, queremos hacer presente desde estas líneas al Sr. Vega de Seoane nuestro agradecimiento por su amable colaboración.

La veta de carbón anómalo que ha motivado este estudio se presenta, como hemos dicho, dentro de la capa 41, en la zona rayada en el plano de desarrollo de la capa, prolongándose hacia abajo en zona todavía no reconocida y, además, con pequeña extensión, en el lugar señalado con una cruz en el mismo plano.

Acompañamos a estas notas unas fotografías de trozos de la hulla normal de la capa (foto núm. 1), del carbón de la

veta anómala (foto núm. 2) y del esquisto que se presenta al muro de la misma capa (foto núm. 3), que permiten apreciar las considerables diferencias que existen en el aspecto externo de estos carbones.

El análisis inmediato de las muestras recibidas de las distintas vetas de la capa 41 dió los resultados que se expresan a continuación:

Muestra núm. 1.—Hulla normal de la capa. Veta del techo (espesor, 30-40 centímetros):

Cenizas	3,1 por 100.
Materias volátiles	27,8 —
Humedad	5,0 —

Muestra núm. 2.—Carbón anómalo. Veta de 5-10 centímetros de potencia:

Cenizas	12,3 por 100.
Materias volátiles	30,8 —
Humedad	0 —

Muestra núm. 3.—Hulla normal de la capa. Veta del muro (espesor, 20-30 centímetros):

Cenizas	3,2 por 100.
Materias volátiles	30,0 —
Humedad	6,0 —

Muestra núm. 4.—Esquisto al muro de la capa (potencia, 5-10 centímetros):

Cenizas	14,8 por 100.
Materias volátiles	30,0 —
Humedad	0 —

Como puede apreciarse, el llamado esquisto (que en realidad no lo es) resulta muy semejante al carbón anómalo; por su parte, los lechos de hulla normal presentan notable uniformidad, sin que su composición sea tampoco muy dese-

mejante de la del carbón anómalo, salvo la mayor cantidad de éste en cenizas y materias volátiles (refiriéndolas al carbón limpio) y menor contenido en humedad después de desecación al aire, consecuencia de su mayor compacidad; pero, en definitiva, las diferencias halladas son mucho menores de lo que permitiría suponer tan diferente aspecto externo.

Con objeto de discriminar la verdadera naturaleza de estas vetas de carbón anómalo, realizamos una serie de preparaciones microscópicas de fragmentos de los distintos lechos de la capa en cuestión, de las cuales se obtuvieron las microfotografías que ilustran estas notas.

Las preparaciones realizadas con fragmentos de la hulla normal de esta capa nos han permitido comprobar que se trata de un carbón típicamente húmico. En las microfotografías 4 y 5 se recogen dos aspectos característicos. Más del 80 por 100 de estas vetas está constituido exclusivamente por vitrita, en la que apenas pueden reconocerse estructuras celulares. Podemos afirmar, pues, que esta capa debió formarse fundamentalmente a expensas de restos leñosos cuya descomposición tuvo lugar bajo el agua, y así, los tejidos leñosos de los troncos y ramas y del parénquima cortical fueron impregnados por disoluciones coloidales de sustancias húmicas procedentes del mismo proceso de descomposición y que, por tener (una vez carbonizado el gel primitivo) el mismo poder de reflexión que los tabiques celulares de aquellos tejidos, enmascaran las estructuras, hasta el punto de parecer prácticamente inexistentes. Estos lechos vitríticos, que, como hemos dicho, constituyen la gran mayoría de la formación, aparecen sembrados de cristalitos de pirita distribuidos en planos paralelos a la estratificación, aportada probablemente por las aguas. Como elementos accesorios se observan algunas franjas de clarita, en las que los cuerpos figurados, macro y microesporas (en la microfot. núm. 5 puede apreciarse un macro-

espora bien caracterizado, bordeada por un gran cristal de pirita) y restos de cutículas, constituyen en todo caso la minoría. No se observa en parte alguna franjas de durita, ni apenas restos de sustancia opaca, lo que nos indica la no existencia de ninguna fase de fermentación pútrida o sapropelítica. Tampoco observamos ninguna franja ni lentejón de fusita y sí tan sólo elementos de tránsito, como las bandas de semi-fusita que se aprecian en la microfotografía núm. 4, lo que refuerza la hipótesis de la existencia de un gel húmico, que al impregnar los elementos fusíticos ha dado lugar a estas formaciones de tránsito vitro-fusíticas. Finalmente, tampoco se encuentran zonas de pizarras carbonosas o lechos de sustancias minerales.

Resumiendo, pues, todas estas observaciones, podemos repetir que la capa debió formarse casi enteramente a expensas de troncos y ramas de los bosques carboníferos en zonas pantanosas de aguas tranquilas y poco profundas, en las que no se hicieron sentir los efectos de crecidas ni corrientes violentas que hubieran aportado, sin duda, elementos térreos no presentes.

El estudio de las preparaciones realizadas con la veta del muro (supuesto esquisto) (véanse las microfotografías números 6, 7 y 8) nos confirma que no se trata en manera alguna de un esquisto o pizarra carbonosa, como podría afirmarse ya con los resultados del análisis elemental. En las microfotografías 6 y 7 puede apreciarse la presencia de macroesporas bien conservadas, semejantes a las encontradas en los lechos de hulla normal y embebidas igualmente en una pasta fundamental húmica (vitrita), casi enteramente desprovista de estructuras y rodeada de abundantes microesporas y restos de cutículas mal conservadas, en proporción suficientemente importante para dar al conjunto aspecto mate, que en la observación macroscópica podría inducir a error por su semejanza con la durita,

que, sin embargo, no se reconoce en ninguna parte de dichas preparaciones. Tan sólo hemos podido advertir la presencia de sustancia opaca en muy pequeña proporción en la zona a que corresponde la microfotografía número 8, de tal manera, que podemos afirmar igualmente que se trata de un carbón húmico, de análoga naturaleza a la hulla normal de la capa, de la que sólo se diferencia por la mayor cantidad de esporas y otros restos quitinosos, a lo que se debe el mayor contenido en volátiles y cenizas de esta veta. En cuanto al aspecto de esquisto, debe atribuirse a efectos de laminación provocados por fenómenos tectónicos, que han producido deformaciones plásticas visibles en la estructura microscópica.

En las preparaciones realizadas con la veta de carbón anómalo (microfotografías núms. 9, 10 y 11), cuyo aspecto macroscópico y composición tanto le asemejan a un *cannelcoal*, no pudimos observar estructuras ni cuerpos figurados trabajando en las condiciones utilizadas en los casos anteriores; fué preciso recurrir a objetivos de inmersión y ampliificaciones de $\times 200$. En estas condiciones se revela netamente la presencia de considerable número de microesporas (no pudimos observar, en cambio, macroesporas) que forman casi la parte más importante del conjunto y resultan particularmente visibles en preparaciones talladas paralelamente a la estratificación (microfotografía núm. 11). Al lado de ellas se observa la presencia de algunos nódulos de resinas, espículas aisladas de fusita y gran cantidad de restos de difícil identificación y muy pequeño tamaño, que llega hasta constituir un punteado de la pasta fundamental que sirve de cemento al conjunto. Estos restos pueden ser de macro y microesporas y, en todo caso, debe atribuírseles naturaleza quitinosa. A su abundancia hemos de atribuir el alto rendimiento en aceites de este carbón cuando se somete a semidestilación (alquitrán primario). No se observa aquí tampoco la existencia de sustancia opaca más

que de manera episódica, de tal manera que hemos de excluir la posibilidad de considerar como durítica esta formación. La pasta fundamental es húmica (vitrítica), exactamente lo mismo que en el resto de la capa.

No se trata, pues, de un *cannelcoal* en estricto sentido, sino de un *pseudocannelcoal* de base húmica; en definitiva, de una concentración clarítica muy rica en restos vegetales; por ello, aun siendo grande el rendimiento en aceites, no lo es tanto como correspondería a un *cannelcoal* auténtico de análoga estructura, pero de formación sapropelítica. En cambio, sometido a coquización da coque bien aglomerado y muy esponjoso, lo que corrobora su naturaleza húmica.

En resumen, a pesar de las anomalías que representan la veta intermedia de *pseudocannelcoal* y el llamado esquisto del muro, la composición petrográfica nos mueve a afirmar que se trata de una formación autóctona, en la que no se han operado durante la deposición cambios fundamentales de sustancias, ni aun de condiciones básicas de sedimentación. Dos explicaciones pueden darse a la formación de la veta de *pseudocannelcoal*. En primer término, la gran cantidad de microesporas y restos vegetales de tamaño relativamente uniforme hace pensar en la posibilidad de una época de vientos fuertes, que arrastraron gran cantidad de estos restos, acumulándolos en determinados parajes de los pantanos en que se ha formado la capa, realizando una separación mecánica que explicaría la uniformidad de tamaños que se observa; estas esporas y restos vegetales quedarían sumergidos en la disolución coloidal de sustancias húmicas, no siendo afectados por la transformación que sufrieron los tejidos leñosos, por la mayor inercia química de sus envueltas quitinosas.

Otra es la posible variación del nivel de las aguas en los pantanos, a consecuencia de épocas de relativa sequedad; así

pudo ocurrir que quedaran en seco zonas de menos profundidad, y al quedar expuestas al aire estas zonas se produjo la descomposición total de los tejidos leñosos (transformándose enteramente en CO_2 y H_2O), salvándose tan sólo de la desintegración por desecación las esporas, cutículas y otros restos de naturaleza quitinosa y realizándose así una concentración de ellos por causas de orden químico y aumentando al propio tiempo la cantidad de cenizas intrínsecas por la precipitación de polvo atmosférico y concentración de las sustancias minerales de los propios restos vegetales desaparecidos. Al volver posteriormente las cosas a su estado primitivo, las aguas cargadas de sustancias húmicas vinieron a impregnar y cementar todos estos restos vegetales.

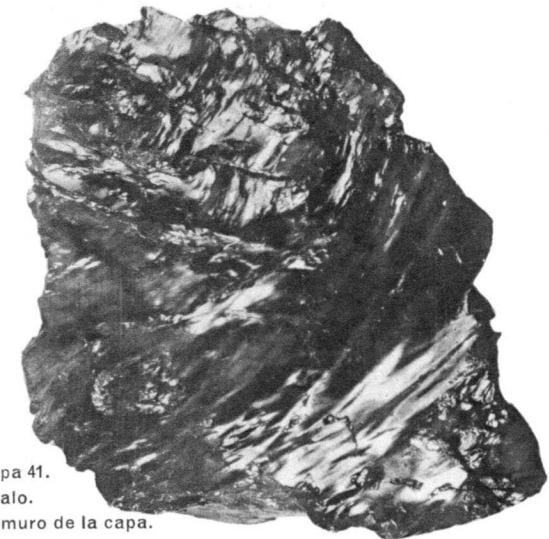
Resulta difícil inclinarse por una u otra de estas dos explicaciones posibles; quizá coexistieran influencias de ambos órdenes, ya que no sólo no se excluyen, sino que, en cierto modo, se complementan.



(1)



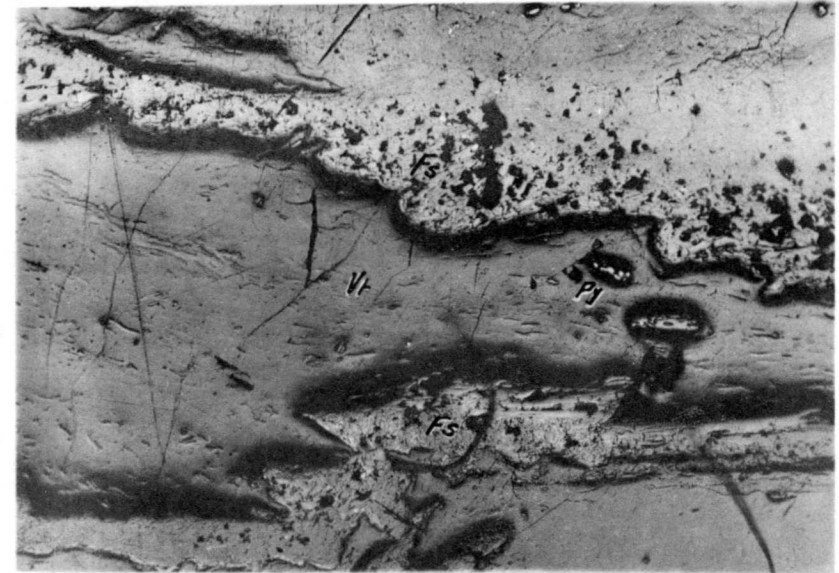
(2)



(3)

- N.º 1.—Hulla normal de la capa 41.
N.º 2.—Veta de carbón anómalo.
N.º 3.—Supuesto esquisto al muro de la capa.





Hulla normal de la capa 41. $\times 75$
Fs — Semifusita: Vt — Vitrita: Py — Pirita



Hulla normal de la capa 41. $\times 75$
Py — pirita: Me — macrospora: Vt — vitrita



CASTELL. - Nota sobre una veta de carbón anómalo hallado en la capa 41 del grupo Urbíes de HULLERAS DE TURON



Supuesto esquisto al muro de la capa 41. $\times 75$
Clarita: Vt- pasta vitrítica: Me- macroespora: mt- microespora: Py- pirita



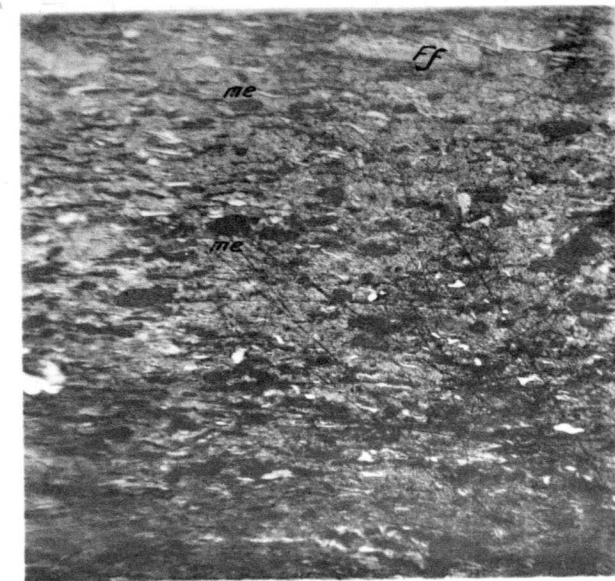
Supuesto esquisto al muro de la capa 41. $\times 75$
Clarita: Me- macrcespora: Vt- pasta vitrica: me- microespora: Cu- cutículas:
Py- pirita



CASTELL. - Nota sobre una veta de carbón anómalo hallado en la capa 41 del grupo Urbíes de HULLERAS DE TURON

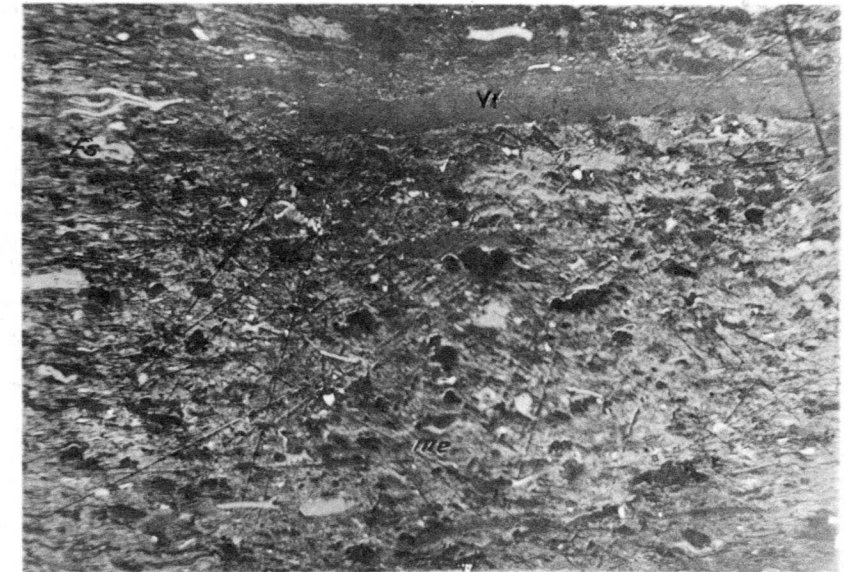


Supuesto esquisto al muro de la capa 41. X 185 Inm.
Clarita; Vi- pasta vitrítica; So- sustancia opaca

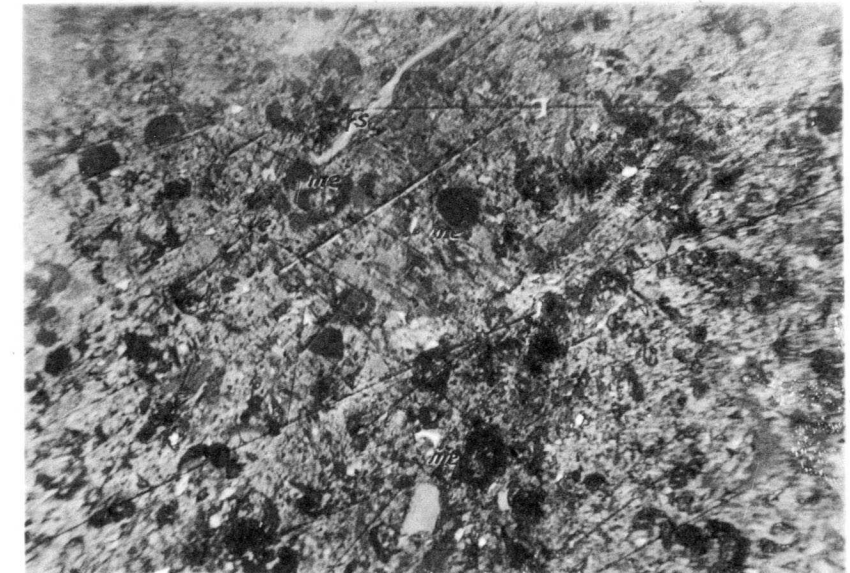


Carbón anómalo en la capa 41. (Corte normal a la estratificación). X 185 Inm.
Microesporas y restos vegetales: me - microesporas; ff-
espícula de fusita





Carbón anómalo en la capa 41. (Corte normal a la estratificación). $\times 185$ Inm.
Microesporas y restos vegetales: Vt- banda vitrítica: Fs- espícula de fusita:
me-microespora



Carbón anómalo en la capa 41. (Corte paralelo a la estratificación). $\times 185$ Inm.
Microesporas y restos vegetales: Fs- espícula de fusita: me- microesporas

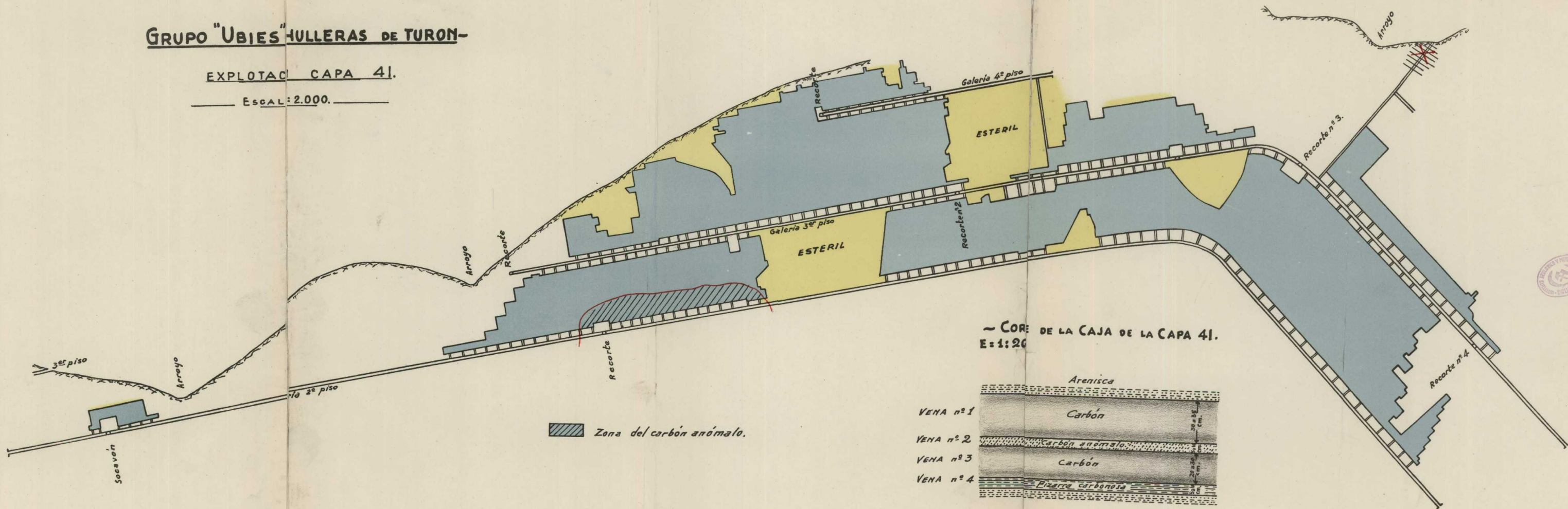


CASTELL. - Nota sobre una veta de carbón anómalo hallado en la capa
41 del grupo Urbies de HULLERAS DE TURON

GRUPO "UBIES" HULLERAS DE TURON-

EXPLOTACI. CAPA 41.

ESCALA: 2.000.



**DATOS PARA EL CONOCIMIENTO
ESTRATIGRAFICO Y TECTONICO DEL
PIRINEO NAVARRO**

POR

J. M. RIOS, A. ALMELA y J. GARRIDO

J. M. RIOS, A. ALMELA y J. GARRIDO

DATOS PARA EL CONOCIMIENTO
ESTRATIGRAFICO Y TECTONICO
DEL PIRINEO NAVARRO

Por haber sufrido extravío parte de los originales de la continuación de este trabajo, así como por tener incompletos aún los datos paleontológicos que habían de figurar en esta parte, nos vemos obligados a posponer hasta el próximo número la publicación de la tercera parte de este trabajo.

Esperamos finalizarlo en el próximo número de estas NOTAS y COMUNICACIONES, dando algún corte a lo largo de los ríos Salazar y Roncal, citando los datos paleontológicos de la región en conjunto y procurando reunir todos los hechos fundamentales estratigráficos y tectónicos para obtener conclusiones paleogeográficas generales.



**INVESTIGACIONES EN LA CUENCA
HIDROLOGICA DE LA MANCHA**

POR

TOMAS SANZ

INGENIERO DE MINAS

TOMAS SANZ

INGENIERO DE MINAS

INVESTIGACIONES EN LA CUENCA HIDROLOGICA DE LA MANCHA

Con objeto de aumentar el rendimiento agrícola de nuestro suelo, al convertir en regadío amplias zonas, la Obra Sindical "Colonización" ha emprendido, aparte de otras actividades, una labor de captación de aguas de ríos, manantiales y subsuelo en distintas regiones de España con resultados muy interesantes, refiriéndose en el presente trabajo a las investigaciones hidrológicas efectuadas en la zona de La Mancha.

Esta gran zona agrícola, en la que se cultivan toda clase de cereales y viñedo, además de otros productos en menor escala, impresiona al viajero no sólo por la inmensa llanura, sino también por la sequedad del terreno, y, sin embargo, a muy pocos metros de la superficie existe una cuenca hidrológica de una gran importancia, cuyo aprovechamiento económico se trata de efectuar, y que tendrá por resultado una visible transformación de La Mancha; se entiende por este nombre, cuyo origen parece proviene del árabe "Man-xa" (tierra seca), la región que, según el Sr. Hernández Pacheco, está constituida por "la región llana, de contorno irregular, que se extiende al E. de Ciudad Real y del territorio de colinas de cuarcitas silúricas por donde se extienden los montes de Toledo y la penillanura de los campos de Calatrava. Región que se extiende por Levante hasta más allá de Albacete,

según una línea desde Chinchilla, aproximadamente por el curso del Júcar, y llega cerca de Cuenca, estando ambas poblaciones fuera de La Mancha.

Por el S. señala el límite el contacto de los terrenos paleozoicos entre Manzanares y Valdepeñas, siguiendo por el borde septentrional, en general poco definido, del campo de Montiel hasta Chinchilla.

Por el N. el límite es más impreciso, pero puede fijarse al S. del Tajo por Ocaña y Tarancón hasta Cuenca.

Está, pues, la región encuadrada al N. por la divisoria del Tajo. El borde paleogeno y los mesozoicos de la Hispania calcárea levantina la limitan por el E. El triásico de la altiplanicie del campo de Montiel y paleozoicos del borde meridional de la meseta española, por el S. Al O. forman la linde de la región los terrenos paleozoicos de la altiplanicie toledana y de los campos de Calatrava. Resulta así una amplia llanura, de 150 a 175 kilómetros de E. a O. por un centenar de N. a S."

La existencia de una importante cuenca hidrológica en el mioceno continental de La Mancha está prácticamente demostrada con las norias abiertas, en número mayor de 25.000, desigualmente repartidas por toda la región, especialmente en las proximidades de los poblados, con las que atienden por un procedimiento primitivo y costoso el riego de sus parcelas. Señala también la existencia de dicha cuenca el curso del río Guadiana, que al transcurrir por terrenos muy permeables disminuye su caudal hasta desaparecer, volviendo a formarse el río con los llamados "Ojos del Guadiana", situados a 610 metros de altitud, que actúan a modo de desagües naturales del agua almacenada en la cuenca hidrológica, que llega hasta cerca de los 680 metros.

Las norias practicadas tienen, en general, muy poca profundidad, por estar paradas al encontrar el "golpe fuerte"

del agua, con el que atienden sus modestas pretensiones, y como además carecen de medios mecánicos suficientes para su agotamiento, se ven obligados a parar la profundización inmediata, dejando una diferencia de dos a tres metros, como máximo, entre el nivel normal de agua y el fondo. Las profundidades están en relación con la zona donde se encuentra almacenada el agua, variando entre cuatro a quince metros, según la región. Los caudales son también muy variables. Dependen de muchas causas, como son: cantidad de lluvia, constitución geológica del terreno, forma de la ejecución del pozo, caldera, etc., etc. En general, se tienen muy pocos datos sobre caudales, ya que apenas se han hecho aforos y el labrador sólo sabe si se agota el pozo o varía el nivel del agua al trabajar la jornada normal con su noria.

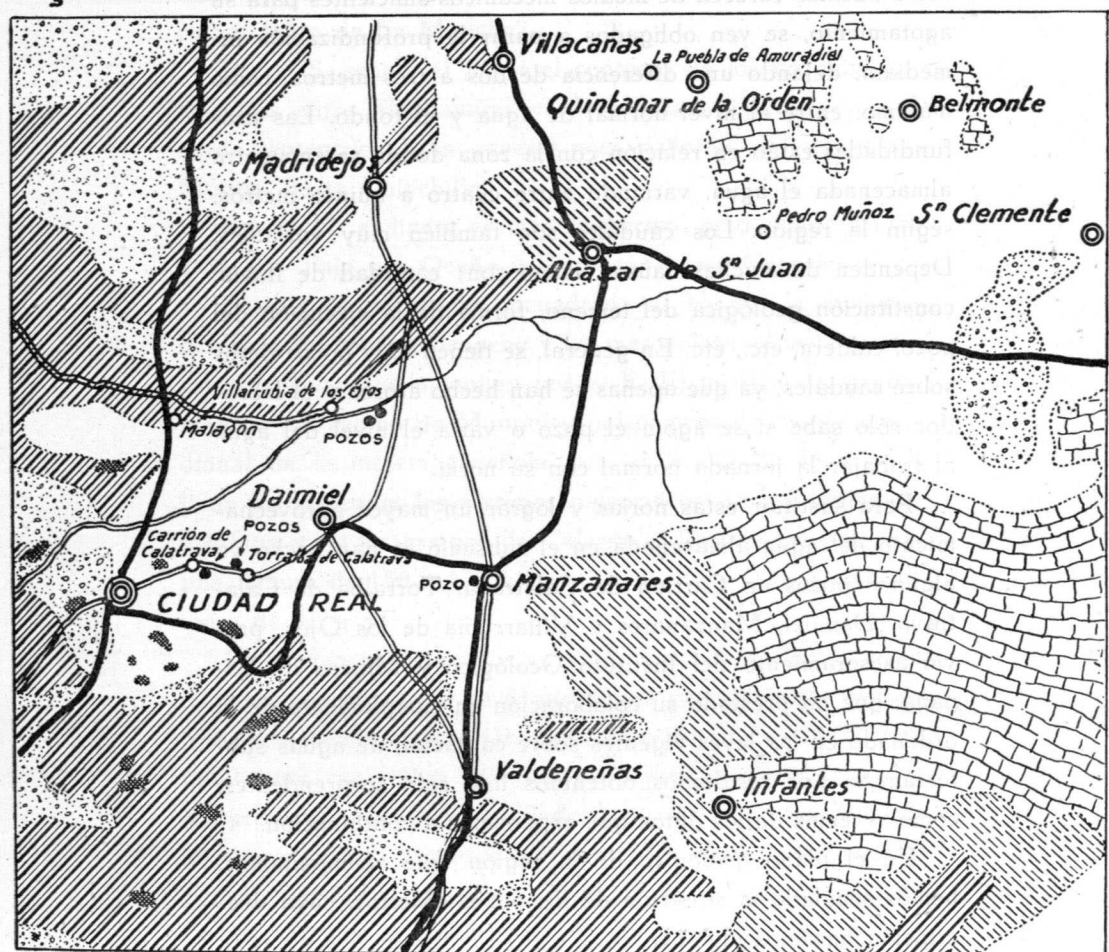
Para sustituir estas norias y lograr un mayor aprovechamiento del agua almacenada en el subsuelo se han hecho ya algunos pozos en Carrión de Calatrava, Torralba de Calatrava, Daimiel, Manzanares y Villarrubia de los Ojos, previo asesoramiento del Instituto Geológico y Minero de España, que ha prestado su colaboración en cumplimiento de lo ordenado en las leyes vigentes sobre captación de aguas subterráneas. Los resultados obtenidos han sido sorprendentes, como veremos de los datos que exponemos a continuación.

En el plano geológico de la región, que acompañamos, hemos señalado la situación de los pozos abiertos, cuya descripción hacemos (fig. 1).

Carrión de Calatrava (fig. 2).—El pozo de Carrión de Calatrava está situado el NE. de dicho pueblo y próximo a la carretera que conduce a Torralba. Se perforó el pozo con diámetro de 3,5 metros, haciendo otro pozo al lado comunicado para instalación del grupo moto-bomba de gasolina, con el que se achican las aguas para poder trabajar.

Los terrenos cortados al perforar el pozo fueron:

Fig. 1ª



ESCALA DE 1:100.000

EXPLICACIÓN

	Diluvial.		Cretaceo.		Siluriano.
	Mioceno.		Triásico.		Asomas hipogénicas.

Hasta 0,50 metros de profundidad, tierra de labor.

— 4,50 —	—	moladas.
— 8,50 —	—	caliza pontiense.
— 13,00 —	—	arenas calizas, con algo de arcilla y trozos grandes de caliza.

Las moladas dejan paso libre hacia el interior a las aguas de lluvia que llegan a la caliza pontiense atravesando una serie de canales y tubos abiertos por el paso de agua, en los

CARRIÓN

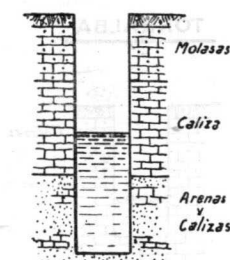


Fig. 2

cuales se observa la formación de travertinos. Esta caliza alterna con capas muy delgadas de arenas calizas, cuyo mayor espesor se encuentra a partir de los 8,50 metros.

El agua brotó a partir de los 6,75 metros de profundidad por los canales de la caliza pontiense y en los contactos con las capas de arena. A los diez metros se aforó un caudal de 20 litros por segundo, y a los 12 metros se repitió el aforo, que dió 40 litros por segundo, continuándose la profundización del pozo unos metros y después se proyecta abrir galerías hasta obtener un caudal que permita regar una amplia zona, que por ahora se calcula en 100 hectáreas.

Pozo de Torralba de Calatrava (fig. 3).—Su emplazamiento está a 1.700 metros al O. de este pueblo, al N. de la carretera de Carrión a Torralba. Se abrió con tres metros de diámetro.

Los terrenos atravesados al abrir el pozo son:

Hasta 0,60 metros de profundidad, tierra de labor.

— 1,80 —	—	moladas.
— 7,20 —	—	caliza pontiense.

Los terrenos cortados son análogos a los del de Carrión.

El agua brotó a los 5,25 metros de profundidad, dando un caudal de 80 litros por segundo. Posteriormente, al continuar

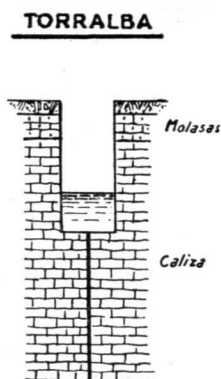


Fig. 3

la profundización, después de haber practicado un sondeo a percusión de diez metros de profundidad aumentó el caudal a 125 litros por segundo. La profundización se continuará aún algunos metros, proyectándose regar una extensión de 150 hectáreas, posibles de aumentar según el caudal que en definitiva dé el pozo. Se han iniciado ya las instalaciones de un grupo eléctrico moto-bomba de 200 HP, con su correspondiente caseta de transformación.

Pozo de Daimiel (fig. 4).—Está situado al SO. de dicho pueblo, entre el ferrocarril de Ciudad Real a Alcázar de San Juan y la carretera a Manzanares.

Inmediatamente de la tierra de labor se encontró la caliza pontiense casi aflorando, en la que se continuó profundizando hasta los 26 metros, en que se dió por terminado el pozo.

El agua se encontró a los seis metros, dando el aforo al terminar el pozo un caudal de 250 litros por segundo. Después de abiertas dos galerías de 175 y 15 metros al NO. y SE., res-

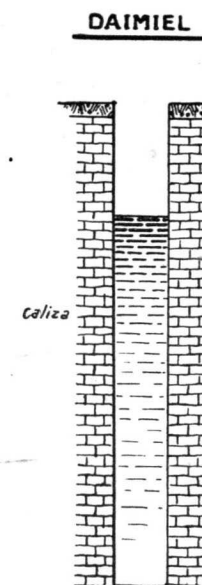


Fig. 4

pectivamente, se elevó a más de 600 litros por segundo, no conociéndose con exactitud el caudal por las dificultades actuales de energía eléctrica.

Para el aprovechamiento de este caudal se ha hecho una instalación subterránea de cuatro grupos eléctricos moto-bombas, con una potencia total de 450 HP, que elevan el

agua a un depósito capaz para 6.000 metros cúbicos, del que parte una red de acequias dispuesta para regar 912 hectáreas.

Pozo de Manzanares (fig. 5).—Está emplazado al SO. de esta población, a dos kilómetros de ella.

El corte geológico del pozo está constituido:

- Hasta 0,50 metros, por tierra de labor.
 — 12,00 — por molasa.
 — 14,00 — por calizas pontienses.
 — 19,00 — por margas rojizas.
 — 21,00 — por arcillas compactas rojas.
 — 23,00 — por conglomerados de granos de arcilla con cemento calizo.

MANZANARES

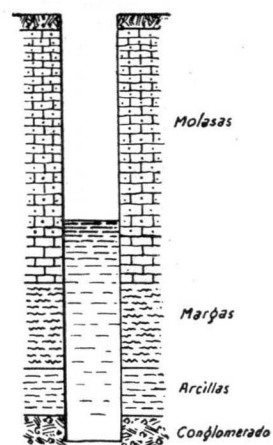


Fig. 5

A partir de los 14 metros, el terreno parece ser poco permeable, aumentando la proporción de arcillas en las margas al ir profundizando. La arcilla encontrada entre los 19 y 21 metros es totalmente impermeable.

El agua se encontró a los 12,80 metros, siendo su caudal de diez litros por segundo. Avanzadas unas galerías, aumentó a 48 litros por segundo.

A pocos metros al O. de este pozo, y desde el fondo de otro que tenía 11,20 metros, se ha practicado un sondeo que ha cortado los siguientes terrenos (fig. 7):

SONDEO DE MANZANARES

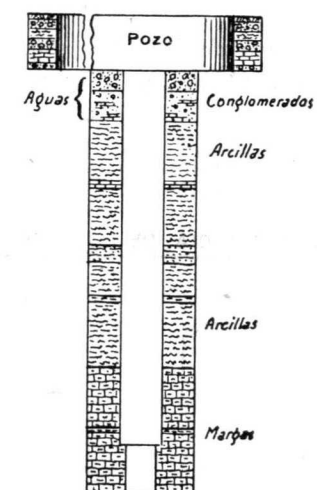


Fig. 7

- Hasta 0,30 metros, tierra de labor.
 — 4,30 — pudinga caliza.
 — 5,00 — arena caliza, descomposición de la anterior.
 — 8,00 — conglomerados.
 — 10,40 — caliza compacta.
 — 14,95 — conglomerados calizos, de grano más grueso.
 — 20,95 — conglomerados y caliza.

Hasta 33,70 metros,	arcilla roja.
— 34,00 —	caliza.
— 55,20 —	arcilla roja compacta.
— 55,70 —	arcilla con arenisca.
— 59,05 —	arenisca.
— 69,30 —	arcilla roja.
— 71,25 —	arcilla y caliza.
— 76,05 —	caliza arcillosa.
— 96,00 —	caliza arcillosa.

Pozo de Villarrubia de los Ojos (fig. 6).—Pozo situado al O. de la carretera de Daimiel a Villarrubia, al S. del río Jigüela.

El corte geológico presenta:

VILLARRUBIA DE LOS OJOS

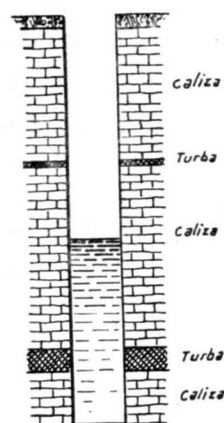


Fig. 6

Hasta 0,50 metros,	tierra de labor.
— 8,00 —	caliza compacta gris.
— 8,20 —	capa de turba.

Hasta 16,00 metros,	caliza compacta gris.
— 16,90 —	capa de turba.
— 22,50 —	caliza compacta.

La capa de turba presenta en el centro arcilla con cantidad de fósiles *Planorbis*, *Thiollierei*, Mich; *Hydrobia Deyderei*, Dep. y Seyn. En la caliza gris se encuentran los mismos fósiles, correspondientes al pontiense.

El pozo da un caudal de cinco litros por segundo, encontrándose el agua a 12 centímetros de profundidad.

Más al N. se practicó otro pozo en un punto donde manaba gran cantidad de agua. Al profundizar aumentó la cantidad de agua surgente. El terreno está constituido por arenas calizas muy sueltas con algunos trozos de caliza blanca hasta los 2,50 metros. Hasta los 4,40 metros hay caliza porosa. Después se encuentra un metro de marga verde y nuevamente la caliza porosa hasta los 5,50 metros, con gran cantidad de *Hydrobia Deydieri*. El pozo está en ejecución y da un caudal de 40 litros por segundo. El punto elegido posiblemente es un "Ojo del Guadiana".

* * *

Observando el plano de la región vemos que los pozos de Carrión, Torralba y Daimiel están situados en el centro de la cuenca hidrológica, y por ellos pasa la corriente de agua, de origen cuaternario, que se dirige hacia el Guadiana desde el S. y SE. de las montañas y del Guadiana superior.

Los cortes geológicos de los pozos nos indican que el agua aparece en la caliza pontiense, entre la red de canales abiertos en ella o entre la caliza y fajas de arena, observándose una relación entre el caudal y el espesor de la caliza pontiense, como es natural, ya que a mayor depósito de agua debe corresponder mayor caudal (fig. 8).

En ninguno de los pozos se ha llegado al aprovechamiento íntegro de la capa freática, puesto que no se ha llegado a la zona impermeable que le sirve de base, formada por arcillas del mioceno o Triás. La única excepción es la del pozo Manzanares, en que se llegó a arcillas del Triás; pero por el pequeño espesor de las calizas pontienses—dos metros—, el cau-

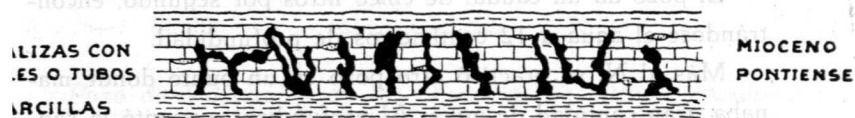


Fig. 8

dal es relativamente bajo. Los sondeos verificados en algunos puntos de La Mancha y recogidos en las Memorias de las Hojas del Instituto Geológico dan espesores mayores de 70 metros, al que no interesa llegar, desde el punto de vista económico, para su utilización en regadío.

El pozo de Manzanares se practicó al borde de la mancha miocena, próximo al Triás. En el pozo, y después en el sondeo, se encontró este terreno, como hemos dicho antes, representado por margas y arcillas rojas que se inician a los 14 metros, continuando, por lo menos, hasta los 96 metros, en que quedó parado un sondeo que se efectuó al O. del pozo. El corte geológico de esta zona queda, en virtud de los datos obtenidos en el pozo y en el sondeo, representado como se indica en el dibujo adjunto (fig. 9). La proximidad del pozo y el sondeo da lugar a errores en el buzamiento del Triás, que posiblemente no es tan inclinado como aparece en el dibujo, pero indica que, a medida que se avanza hacia el centro de La Mancha, el espesor del mioceno aumenta, desapareciendo los conglomerados calizos y apareciendo las molasas y calizas

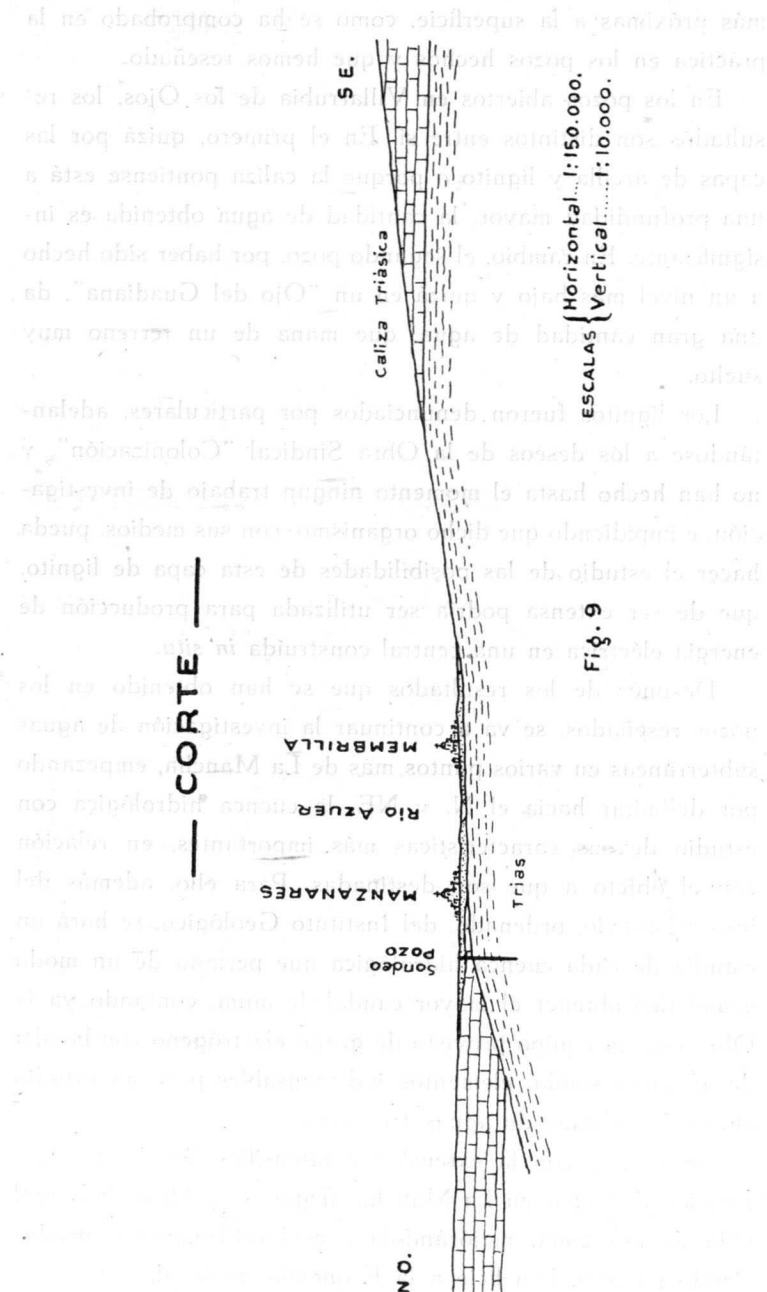


Fig. 9

más próximas a la superficie, como se ha comprobado en la práctica en los pozos hechos y que hemos reseñado.

En los pozos abiertos en Villarrubia de los Ojos, los resultados son distintos entre sí. En el primero, quizá por las capas de arcilla y lignito o porque la caliza pontiense está a una profundidad mayor, la cantidad de agua obtenida es insignificante. En cambio, el segundo pozo, por haber sido hecho a un nivel más bajo y quizá en un "Ojo del Guadiana", da una gran cantidad de agua, que mana de un terreno muy suelto.

Los lignitos fueron denunciados por particulares, adelantándose a los deseos de la Obra Sindical "Colonización", y no han hecho hasta el momento ningún trabajo de investigación, e impidiendo que dicho organismo, con sus medios, pueda hacer el estudio de las posibilidades de esta capa de lignito, que de ser extensa podría ser utilizada para producción de energía eléctrica en una central construida *in situ*.

Después de los resultados que se han obtenido en los pozos reseñados, se va a continuar la investigación de aguas subterráneas en varios puntos más de La Mancha, empezando por delimitar hacia el N. y NE. la cuenca hidrológica con estudio de sus características más importantes, en relación con el objeto a que son destinadas. Para ello, además del informe previo, ordenado, del Instituto Geológico, se hará un estudio de cada cuenca hidrológica que permita de un modo económico obtener el mayor caudal de agua, contando ya la Obra con un equipo provisto de grupo electrógeno con bomba de aforos y sonda, elementos indispensables para un estudio eficaz de cuencas de aguas freáticas.

Se espera, con la extensión e intensificación de la construcción de pozos en La Mancha, llegar a modificar la actual vida de esa zona, mejorándola considerablemente y produciendo un gran beneficio a la Economía nacional.

TRATAMIENTO DE ARENAS AURIFERAS

POR

MIGUEL MOYA

INGENIERO DE MINAS

M I G U E L M O Y A

INGENIERO DE MINAS

TRATAMIENTO DE ARENAS AURIFERAS

Desde hace cuatro años funcionan, en el Laboratorio de Preparación Mecánica de Minerales del Instituto Geológico y Minero de España, dos aparatos de tratamiento hidromecánico, uno movido con motor eléctrico y otro a mano, que es el que más se emplea, tipo Raussenbusch.

El ingenioso dispositivo alemán, con el que se han obtenido muy interesantes resultados en el análisis físico de los minerales sometidos a estudio, ha merecido el elogio de cuantas personas han visitado el Laboratorio.

La idea del sistema es, como otras muchas que la técnica extranjera ha perfeccionado y explota, debida a un compatriota nuestro. Encontramos la noticia en un trabajo de don Amalio Maestre publicado en la *Revista Minera* (año 1851), en el que se reseñan diversos aparatos para el tratamiento de las arenas auríferas de Granada.

Dice el Sr. Maestre:

“El mejor, a mi ver, de los presentados hasta ahora es el del Sr. D. Ignacio Lahera, planteado en Huetorvega. Está fundado en la teoría de los vasos comunicantes. Si en un tubo de brazos desiguales se pone agua en el más largo, al querer establecer el nivel en el más corto, el agua se escapará con una fuerza proporcional a la diferencia de altura. El procedimiento se reduce, pues, a hacer venir las arenas al brazo

corto; el agua, al escaparse, las levanta, obran las gravedades específicas, lo más ligero se escapa y lo más pesado se deposita en el fondo. Lo único que me es lícito decir, respecto al éxito, es que tanto el Sr. Sabau como yo y varios lavadores recogimos y lavamos las arenas despedidas por el aparato en trece horas y no conseguimos ver más que dos átomos de oro azogado, al paso que en las materias depositadas hallamos cantidades notables de oro."

Lo familiar que se ha hecho entre quienes trabajan en el Instituto Geológico el aparato Raussenbusch nos ha inducido a recoger la anterior referencia de la misma idea puesta en práctica, hace ya un siglo, en la provincia de Granada, y con notorio éxito, por nuestro compatriota D. Ignacio Lahera, persona de feliz idea y a quien, como de costumbre, no debieron hacerle, por lo visto, mucho caso.

NOTAS REGIONALES

POR

P. y A. H. SAMPELAYO

PRIMERA REGION: NOROESTE

En el Mioceno de Valdefinjas (Zamora) he podido recoger, entre margas calcáreas, un diente de *Aceratherium* sp. (Rinoceros) citado por primera vez en esta zona, y el cual, con otros restos, será estudiado en nuestro laboratorio, en unión de Mosén J. R. Bataller.—P. H. Sampe layo.

CORRECCION A LA HOJA DE ASTORGA

Al reanudar el estudio de las hojas de la provincia de León hemos advertido un error en la de Astorga, atribuible a una equivocación en la representación gráfica, que deseamos deshacer y divulgar su aclaración con la mayor rapidez. Nos referimos concreta y especialmente al carbonífero señalado al NO. de la ciudad de Astorga, hasta unirse con los isleos de Pradorrey, Combarro, etc., en los cuales son conocidos los graptolitos desde muy antiguo. En esta parte de la hoja se reconoce una estructura de sinclinal suave, en pizarras de la segunda fauna siluriana, sosteniendo, casi de modo plano, las manchas de pizarrillas vinosas (Pradorrey) del Suprasiluriano. Como fundamento a la corrección gráfica que proponemos, insertamos los datos siguientes:

El Gotlandiense, aunque poco estudiado en potencia y articulación, fué conocido desde antiguo. Don Casiano de Prado cita en primer lugar el *M. Convolutus* y el *Diplograptus palmcus* en la "Memoria que comprende los trabajos verificados en el año 1854 por las diferentes Secciones de la Comisión encargada de formar el Mapa Geológico", y refiere como paraje montañas de Astorga. Después debió encontrar los graptolitos "en las pizarras asociadas a las cuarcitas y calizas metamórficas en la parte occidental de León, hacia Galicia, Asturias y la provincia de Zamora"; y esta noticia que da D. Casiano de Prado al empezar el estudio sobre su descubrimiento de la fauna primordial de la Cordillera Cantábrica (1855) se puede unir con otra de E. De Verneuil en el trabajo paleontológico acerca de Almadén (1855), y el cual dice, al hablar de la gran mancha paleozoica del NO. de España: "et pénètre enfin dans la Galice et les Asturies en passant par la province de Salamanque et la partie occidentale du royaume de León ou M. Casiano de Prado vient le découvrir (1854-1855) des graptolites a siete kilomètres au NO. d'Astorga". Las tres noticias nos inducen a suponer que el primer descubri-

miento lo realizó hacia Quereño (Orense) y Puente de Domingo Flórez (León), en su recorrido y corte de Barco de Valdeorras a Ponferrada, y el segundo hacia Brazuelo de Prado de Rey, unos siete u ocho kilómetros al N. de Astorga, sin duda después de continuar su recorrido desde Ponferrada. Siete años después, en su "Breve descripción de la parte occidental de la provincia de León" (1862), señala los graptolitos, sin determinar especies, en Brazuelo de Prado de Rey, Truchas, Las Medullas, Puente de Domingo, Flórez y otros, pegados a Galicia, lo cual evidencia que había descubierto también las corridas suprasilurianas de La Cabrera. Últimamente, en la hoja de Bemibre, hemos recogido: cuarcita, con *cruziensis*; pizarras, con *Calymene* y otras delgadas, con *graptolitos*.

Lo antes que podamos haremos una revisión de la hoja de Astorga, la modificación de cuyos isleos (mapa 1 : 400.000) comprende los correspondientes carboníferos de las hojas colindantes: 192 (Lucillo) y 160 (Benavides), aun no publicadas.—P. y A. H. *Sampelayo*.

SEXTA REGION: LEVANTE

En Villargordo del Cabriel (Valencia), isleo jurásico, ya señalado en nuestro Mapa, como otros con él encadenados en ese río, hemos podido recoger:

- Perisphinctes colubrinus*, Rein.
- *convolutus*, Quenst.
- *plicatilis*, Sow.

Ejemplares muy bien conservados y examinados con el Dr. Bataller, en nuestro laboratorio de paleontología.

Estos isleos oxfordienses parecen prolongarse en ventanas tectónicas a lo largo del Cabriel, hasta Cofrentes.—P. H. *Sampelayo*.

APORTACION A LA BIBLIOGRAFIA DEL PETROLEO EN ESPAÑA

POR

P. H. SAMPELAYO

P. H. SAMPELAYO

APORTACION A LA BIBLIOGRAFIA
DEL PETROLEO EN ESPAÑA

- 1876.—GONZÁLEZ LASALA (J.).—“Areniscas bituminosas o petrolíferas del Puerto del Escudo, en los confines de las provincias de Santander y Burgos”. *Bol. Com. Mapa Geol. España*, tomo III, página 235.—Madrid.
- 1878.—ABELEIRA (M.).—“Minas de petróleo de la provincia de Burgos”. *Revista Min. y Met.*, serie A, tomo V.
- 1890.—ANÓNIMO.—“Pizarras bituminosas en Asturias”. *Rev. Min. y Metalúrgica*, serie C, tomo VII.
- 1902.—LUZURIAGA (F.).—“La región petrolífera del N. de España”. *Revista Min. y Met.*, serie C, tomo XX.
- 1904.—RÍO (C. DEL).—“Hallazgo de yesos impregnados de gotitas de petróleo en el Balneario de San Telmo”. *Bol. de la Soc. Española de Hist. Nat.*, tomo IV, pág. 258.
- 1907.—GÁLVEZ CAÑERO (A.).—“Los criaderos de petróleos de España”. *Ingeniería*.
- 1908.—SOUVIRON (R.).—“Croquis del sondeo ejecutado por la Sociedad Petrolífera de Villamartín”. *Estadís. Min.*
- 1909.—MALLADA (L.).—“Nota sobre los yacimientos de petróleo y azufre de la provincia de Cádiz”. *Bol. Com. Mapa Geol. España*, tomo XXX, pág. 53.—Madrid.
- 1910.—MALLADA (L.).—“Emanaciones de carburos de hidrógeno en las marismas de Lebrija”. *Revista Minera*, 1 febrero.—Madrid.
- 1914.—FERNÁNDEZ NAVARRO (L.).—“La cuenca petrolífera de Rubielos de Mora”. *Revista R. Academia de Ciencias*, tomo XII, pág. 237. Madrid.
- 1916.—GAVALA (J.).—“Regiones petrolíferas de Andalucía”. *Bol. Comisión Mapa Geol. España*, tomo XXXVII, pág. 27.—Madrid.

- 716.—CHIOFFAT (P.).—“Investigaciones de petróleo en la Extremadura portuguesa”. *Bol. Com. Mapa Geol. España*, tomo XXXVII, página 215.—Madrid.
- 716.—GAVALA (J.).—“Yacimientos de petróleo en Huidobro (Burgos)”. *Boletín Com. Mapa Geol. España*, tomo XXXVII, pág. 265. Madrid
- 718.—O'SHEA (G.).—“Informe del Instituto Geológico y Minero de España sobre las pizarras bituminosas de la provincia de Soria”. *Boletín Of. de Min. y Com.*, núm. 8.
- 721.—FÁBREGA (P.).—“Extracto de un informe de petróleo sobre España”. *Revista Min. y Met.*, tomo XXXIX, serie C, pág. 245.
- 721.—HEREZA Y ORTUÑO (J.).—“Petróleos en la región andaluza”. *Revista Min. y Met.*, tomo XXXIX, serie C, pág. 471.
- 721.—ANÓNIMO.—“Sobre posibilidades petrolíferas en la provincia de Almería”. *Rev. Min. y Met.*, tomo XXXIX, serie C, pág. 353.
- 721.—GAVALA (J.).—“Nota acerca de los yacimientos de lignito y pizarras bituminosas de Rubielos de Mora (Teruel)”. *Bol. Instituto Geológico de España*, tomo XXXXII, pág. 263.—Madrid.
- 721.—MIR (N.), GUASCH (P.) y FONRODONA (FR.).—“Estudio de la zona petrolífera del Pirineo catalán en las provincias de Barcelona y Gerona”. *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núms. 49-50. Madrid.
- 721.—NOVO (P. DE).—“La investigación del petróleo en la Península”. Asociación Esp. Progr. de las Ciencias. Congreso de Oporto. Madrid.
- 722.—SOUVIRON (L.) y RAUZ AULÉ (M.).—“Estudio de las ciencias de pizarras bituminosas de los términos de Ronda, Alpandeire y Cortes de la Frontera (Málaga)”. *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núm. 65, págs. 29-68.—Madrid.
- 722.—B. Y.—“Le pétrole en Espagne”. *Revue Pétrolière*, núm. 5.
- 723.—ARIZA (R.).—“Las concesiones de petróleo. Sondeo de Fuenterrabía”. *Estadíst. Min.*
- 723.—ARIZA (R.).—“Las concesiones de petróleo. Sondeo de Aras. Sondeo I de Gaztáin”. *Estadíst. Min.*
- 723.—ALVÁREZ MENDILUCE (E.).—“Las investigaciones de petróleo. Empresas que actúan en España”. *Ingen. y Const.*, pág. 281.
- 723.—MAZARRASA (J. M.) y LUNA (J.).—“Estudio de las sustancias bituminosas de la provincia de Santander”. *Bol. Of. de Min. y Metalurgia*, núm. 75.

- 1923.—RIERA COELLO.—“Investigaciones petrolíferas en España”. *Ingeniería y Const.*, vol. I.
- 1923.—RITTER (E.).—“Distillation of oil Shaler at Puertollano (Spain)”. *Engineering Mining Journal-Press*, vol. CXV, pág. 324.—Nueva York.
- 1924.—X.—“Terminología y términos analíticos de los combustibles líquidos de producción nacional. Productos de carbonización de las hullas y de los esquistos carbonosos”. *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núm. 82, págs. 255-273.—Madrid.
- 1924.—HERNÁNDEZ SAMPÉLAYO (P.).—“Informe sobre el anticlinal y petróleo de Zamanzas (Burgos)”. *Inst. Geol. y Min. de España*.
- 1924.—SANJUÁN (L.).—“Investigaciones preliminares para sondeos petrolíferos”. *Revista Minera*, pág. 218.—Madrid.
- 1924.—GARCÍA BORREGUERO (E.).—“Apuntes para un estudio de los terrenos que se han destinado en el distrito minero de Vizcaya a investigaciones petrolíferas en los trabajos que hasta ahora se han ejecutado, y una estadística de la producción del petróleo mundial”. *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núm. 88, pág. 943. Madrid.
- 1924.—DUPUY DE LÔME (E.) y NOVO (P. DE).—“Datos para la investigación del petróleo en España”. *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, número 91, pág. 23.—Madrid.
- 1924.—CARBONELI, (A.).—“Contribución al estudio de la tectónica del petróleo en el Valle Medio del Guadalquivir”. *Asoc. Española para el Prog. de las Ciencias. Cong. de Salamanca*, tomo VI.
- 1925.—NOVO (P. DE) y CHICARRO (F.).—“La investigación de petróleo en la Península”. *Revista Minera*, pág. 405.—Madrid.
- 1925.—DÍAZ (J. M.).—“Investigaciones de petróleo. Sondeo de Robredo-Ahedo. Sondeo de Gallejones. Sondeo de Cubillos del Rojo”. *Estadística Min.*
- 1925.—DUPUY DE LÔME (E.) y NOVO (P.).—“Datos para la investigación del petróleo en España”. *Rev. Ind. Min. Asturiana*, núms. 238 y 239, y *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núm. 92, pág. 23.
- 1925.—CUNNINGHAM CRAIG (E. H.).—“Sobre el origen del petróleo”. *Boletín Of. de Minas y Metalurgia*, núm. 93.
- 1926.—HERNÁNDEZ SAMPÉLAYO (P.) y CINCUNEGUI (M.).—“Cuenca de esquistos bituminosos de Ribesalbes (Castellón)”. *Bol. Inst. Geológico España*, tomo XXXXVI, pág. 1.—Madrid.

- 1926.—MORA (A.).—“Cuenca de esquistos bituminosos de Ribesalbes (Castellón). Notas relativas a su naturaleza y a su explotación industrial”. *Bol. del Inst. Geol. y Min. de España*, serie tercera tomo XLVI.
- 1926.—ALVARADO (A. DE).—“Tectónica y petróleos de los Cárpatos polacos. Algunos datos para su estudio y ensayo de comparación con las zonas del Flysch cantábrico”. *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núms. 104 y 105.
- 1926.—NOVO (P. DE).—“Les gisements de pétrole en Espagne”. *Congrès Géologique Inter. Comptes rendus de la XII session en Belgique 1922*; 3.^a et dernier fasc., pág. 1.349.—Liege.
- 1926.—GIL RUIZ (R.).—“El camino a seguir para el descubrimiento de los combustibles sólidos y líquidos en España”. *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núm. 108, pág. 457.—Madrid.—*Revista Minera*, página 425.
- 1926.—KINDELÁN (V.).—“Es de gran interés y sería útil la investigación por procedimientos geofísicos de los terrenos miocénicos y azufreros del Sudeste de España, por si en ellos existen depósitos de hidrocarburos susceptibles de aprovechamiento industrial”. *Boletín del Inst. Geol. de España*, tomo XXXXVII, pág. 177. Madrid.
- 1928.—GIMÉNEZ AGUILAR (J.).—“El yacimiento petrolífero de Cuenca”. *Boletín R. Sociedad Esp. Hist. Nat.*, tomo XXVIII, pág. 439. Madrid.
- 1929.—“Sondeos para investigaciones petrolíferas”. *Comité Nacional de Sondeos*, tomo I, segundo fascículo.
- 1930.—VIENNOT (P.).—“Investigaciones de petróleo en la zona prepirenaica”. *Comité Nacional de Sondeos*, tomo II, segundo fascículo.
- 1931.—HERNÁNDEZ SAMPELAYO.—“Analogías entre los indicios petrolíferos andaluces e italianos”. *Notas y Comunicaciones*, vol. III, pág. 21. Madrid.
- 1931.—HERNÁNDEZ SAMPELAYO (P.).—“Noticia sobre los petróleos de Garrucha (Almería)”. *Revista Minera*, tomo LXXXII, pág. 25. Madrid.
- 1931.—ALVARADO (A.) y MENÉNDEZ PUGET (L.).—“Pizarras bituminosas. Datos obtenidos en el sondeo número 1 de Puertollano”. *Boletín del Inst. Geol. y Min. de España*, tomo LII, pág. 251.—Madrid.

- 1931.—ALVARADO (A. DE).—“Pizarras bituminosas de Puertollano”. *Ingeniería y Construcción*, vol. IX.
- 1931.—CANDEL VILA (R.).—“Sobre la posible existencia de petróleos en Beni-Bu-Yahi y Metalza (Marruecos)”. *Bol. de la Soc. Esp. de Historia Nat.*, tomo XXXI.
- 1932.—SIERRA YOLDI (ALF. S.).—“Notas sobre la tectónica de Cataluña y sus relaciones con posibles yacimientos petrolíferos”. *Memoria de la Acad. Cien. y Art. de Barcelona*, 3.^a época, vol. XXIII, número 1.—Barcelona.
- 1932.—“Investigaciones por métodos geofísicos: Investigación gravimétrica en la zona petrolífera de Garrucha (Almería)”. *Notas y Comunicaciones del Inst. Geol. y Min. de España*, núm. 4.
- 1932.—Tomo LXXXIII, *R. M.*, pág. 517.—Comunicaciones del Ingeniero de Minas Sr. H. Sampelayo.
- — — — 553.—Provincia de Vizcaya: I. Alrededores de Elorrio.—Situación.
- II.—Villasana de Mena.
- III.—El anticlinal del cretáceo inferior de Villaseca de Butrón.
- IV.—Anticlinal de Incinillas-Valdenocedas.
- 1933.—Tomo LXXXIV, *R. M.*, pág. 1.—V.—El terreno reservado para el Estado en Puerto del Escudo-Robledo-Ahedo.
- VI.—Terreno reservado para el Estado en Ondategui y el anticlinal de Vitoria-Olazagutia-Alsasua.
- VII.—Anticlinal de Gaztián-Ircio.
- VIII.—Sondeo de los ingleses cerca de Aras.
- IX.—Los terrenos reservados al Estado en Tafalla-Eslava.
- 1933.—HERNÁNDEZ SAMPELAYO (P.).—“Investigaciones petrolíferas en España”. *Revista Minera*, pág. 1-C, 10 figuras.—Madrid.

- 1933.—CENDRERO (O.).—“¿Existe en la provincia de Santander un yacimiento de petróleo?” *Bol. de la Soc. Esp. de Hist. Nat.*, número 33, lámina XXIX.
- 1933.—DUPUY DE LÔME (E.).—“Datos acerca de la industria petrolífera romana y aplicación de sus datos geológicos a la investigación de algunos yacimientos petrolíferos españoles”. *Bol. del Instituto Geológico y Min. de España*, tomo LIII, pág. 137.
- 1933.—VARGAS (E.), PRIETO (R.), OLIVÁN (A.), SIMÓ (M.) y PRIETO (I.).—“Estudio geológico minero de la zona de contacto de los terrenos antiguos con los secundarios, terciarios y cuaternarios de la provincia de Huelva, relacionado con los estudios e investigaciones petrolíferas de las provincias de Sevilla y Cádiz”. Consejo de Minería: Cat. descrip. de Mem. y Est. acerca de los criaderos de minerales de España, tomo I, segundo fascículo, página 335, y *Bol. Of. de Minas y Metalurgia*, núms. 100 y 101.
- 1934.—MARÍN (A.) y LIZAUR (J.).—“El petróleo en Marruecos”. *Revista Las Ciencias*, año I, núm. 2.
- 1934.—MARÍN (A.), PASTORA (J.) y LIZAUR (J.).—“Iniciación de las investigaciones petrolíferas de la costa atlántica de la zona del Protectorado español de Marruecos”. *Revista Minera*.—Madrid.
- 1934.—VALLE (A. DEL), ARISQUETA (J. y J.) y JORGE (E.).—“Investigación de petróleos en España”. *Rev. Min. y Met.*, tomo LXXXV, página 233.
- 1934.—ALVARADO (A. DE).—“El yacimiento de pizarras bituminosas de Puertollano. Posibilidades de aumentar su explotación”. IX Congreso Int. de Química Pura y Aplicada, tomo VIII.
- 1934.—MAZARRASA (J. M.).—“Estudio de yacimientos petrolíferos y sustancias bituminosas”. Consejo de Minería: Cat. descrip. de Memoria y Est. acerca de los criaderos minerales de España, tomo II, segundo fascículo.
- 1934.—ARISQUETA (J. y J.), VALLE (A. DEL) y JORGE (E.).—“Investigación de petróleos en España”. *Ibérica*, vols. XLI y XLII.
- 1934.—PASTORA (J. L.).—“El petróleo en el Marruecos español”. *Revista Minera y Met.*, serie C, tomo LII.
- 1936.—HERNÁNDEZ PACHECO (Fr.).—“Los materiales bituminosos de la Serranía de Ronda”. *Bol. Soc. Esp. Hist. Nat.*, tomo XXXVI, página 245.—Madrid.
- 1936.—MARÍN (A.).—Investigaciones petrolíferas en Marruecos en:
Zona Atlántica: José L. Pastora.

- Zona Oriental: A. del Valle: “Estructura Alzora”?—E. Dupuy de Lôme y J. Miláns del Bosch: “Estudios paleontológicos”. A. Gálvez Cañero y J. de Lizaur: *Notas y Comunicaciones del Inst. Geol. y Min. de España*, vol. VI, núm. 6.
- 1941.—ALVARADO (A. DE) y CANTOS (J.).—“Notas referentes a las investigaciones petrolíferas en España y algunos otros países”. *Notas y Com. del Inst. Geol. y Min. de España*, núm. 8.
- 1941.—JORDANA (L.).—“Posibilidades petrolíferas en la zona de la Sekia-El Hamara (Sahara español)”.
- 1944.—HEVIA (T.) y ZALOÑA (M.).—“Pizarras bituminosas de la sierra de Bodes, provincia de Oviedo”. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geol. y Min. de Esp.*, núm. 12.
- 1945.—SANZ (R.), Ingeniero de Minas.—“El petróleo en España”. Obra premiada.

RESEÑA BIBLIOGRAFICA

Estudio de los minerales petrográficos, por D. Maximino San Miguel de la Cámara y D. Pablo Martínez Strong, catedráticos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid. 290 pág. en 4.º—Madrid, 1945.

Consta el libro de dos partes: la primera, del profesor Martínez Strong, dedicada al *estudio de los caracteres ópticos de los minerales*, y la segunda, por el profesor San Miguel de la Cámara, que trata del *estudio de los minerales de las rocas*.

Dignos de resaltar la sencillez y al mismo tiempo el rigor científico con que el profesor Martínez Strong trata la óptica cristalina, y suministra al alumno, con acertado criterio didáctico, base teórica y práctica sólida para que pueda emprender con fruto el estudio microscópico de los minerales petrográficos.

En los capítulos I al V explica la naturaleza y propiedades de la luz; el capítulo VI trata del microscopio polarizante o petrográfico e incluye una serie de consejos prácticos para el manejo del microscopio, de gran utilidad para el estudiante; pasa el autor en el capítulo VII a ocuparse en la observación al microscopio con sólo el polarizador; en los capítulos VIII y IX explica la observación de los minerales con luz paralela y nicoles cruzados; los X y XI se dedican al estudio y observación realizados con luz convergente, y por último, el capítulo XII expone los métodos y orden que debe seguirse para el reconocimiento al microscopio de un mineral desconocido.

La parte segunda, por el profesor San Miguel, trata, en su capítulo I, de los minerales petrográficos, los procedimientos de separación de los mismos en las rocas y métodos para la determinación de sus proporciones cuantitativas; también describe el modo de hacer las preparaciones delgadas para el examen microscópico. El capítulo II está dedicado a los minerales petrográficos opacos o muy poco transparentes, y los capítulos III al VII tratan de los minerales transparentes, ordenándolos por sistemas cristalinos. Multitud de bellas fotografías originales ilustran el aspecto al microscopio de los minerales principales estudiados.

También esta parte segunda, del profesor San Miguel, destaca por su claridad, concisión y ordenación didáctica. En resumen: el libro *Estudio de los minerales petrográficos* honra a sus autores y resulta oportunísima su publicación y de gran interés para quienes se dediquen al estudio y práctica de la Petrografía.

I. ROSO DE LUNA

