

NOTAS Y COMUNICACIONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Sumario

- Observaciones geológicas sobre Sierra Espuña (Murcia), por NICOLE e YVES PEYRE.—Pág. 3.
- Corte del Mesozoico y del Eoceno en el Palo de Málaga (Andalucía), por JACQUES AZÉMA, MICHEL DURAND DELGA e YVES PEYRE.—Pág. 23.
- Nuevo yacimiento paleontológico en las series béticas (Vélez Blanco-Lumbreras), por AGUSTÍN NAVARRO y EMILIO TRIGUEROS.—Pág. 37.
- La roca frailesca de Almadén: Un episodio tobáceo en una formación basáltica del Siluriano superior, por A. ALMELA y T. FEBREL.—Pág. 41.
- Sobre nuevas localidades de matalanita en Extremadura, por VICENTE SOS BAYNAT.—Pág. 73.
- La enseñanza de la Mineralogía, por JORGE DOETSCH-SUNDHEIM.—Pág. 89.
- Relación de los principales sondeos para investigación de petróleos llevados a cabo desde 1939 hasta mayo de 1960, por J. M.^a RÍOS.—Pág. 133.
- Diastrafismo y formación de montañas, por MARLAND P. BILLINGS.—Pág. 167.
- Fotogeología, por MANUEL MARÍA DE ALVARADO Y ARILLAGA.—Pág. 253.
- Consideraciones morfogenéticas sobre la cueva de Lazaldy (Alava), por ADOLFO ERASO.—Pág. 275.
- Nuevas dimensiones de la investigación geológica, por ANTONIO DUE ROJO, S. I.—Pág. 297.
- El límite superior del Villafranquiense, por M. CRUSAFONT PAIRÓ.—Pág. 323.
- Observación, interpretación y problemas geológicos de Galicia, por ISIDRO PARGA PONDAL.—Pág. 333.
- Descubrimiento del Cretáceo medio en la Bética de Málaga y la Penibética de Antequera (Andalucía), por MICHEL DURAND DELGA, JEAN MAGNE e YVES PEYRE.—Página 359.
- Servicio pluviométrico en 1959 de la Delegación de Las Palmas del Instituto Geológico y Minero de España.—Página 365.
- Légende générale de la Carte géologique du Monde.—Página 373.
- Bibliografía. Vocabulario. Noticias y Notas Bibliográficas.



NOTAS Y COMUNICACIONES

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO

DE

ESPAÑA

NÚMERO 59

TERCER TRIMESTRE

MADRID

1960

El Instituto Geológico y Minero de España
hace presente que las opiniones y hechos
consignados en sus publicaciones son de la
exclusiva responsabilidad de los autores
de los trabajos.

ES PROPIEDAD

Queda hecho el depósito que marca la Ley.

Depósito Legal M. 1.882.-1958

C. BERMEJO, IMPRESOR.—J. GARCIA MORATO, 122.—TELEF. 33 06-19.—MADRID

NICOLE e YVES PEYRE (1)

OBSERVACIONES GEOLÓGICAS SOBRE SIERRA ESPUÑA (MURCIA)

RESUMEN

Las observaciones geológicas efectuadas en 1957, y completadas en 1958, en el macizo de la Sierra Espuña, han permitido precisar algunos puntos de la serie estratigráfica de esa región, anteriormente estudiada por P. Fallo.

En el Lias ha sido descubierto un nuevo yacimiento fosilífero, rico, sobre todo en ammonites y braquiópodos: es atribuido al Domerense medio.

Las calpionellas, muy escasas, de la coronación de la serie caliza del Jurásico, han permitido demostrar la existencia de un nivel de edad Titónica o Berriasense.

Ha sido confirmada, por la microfauna, la edad albense de la caliza glauconífera de facies Gault, descubierta por P. Fallo en el Cretáceo.

Por encima del Gault, varios niveles del Cretáceo superior han sido identificados gracias a las microfaunas.

Esta serie secundaria del macizo de Sierra Espuña, tal como acaba de ser completada, presenta un gran interés. En efecto, sus particularidades la alejan de las series homólogas conocidas más al Norte y, por el contrario, la asemejan al Mesozoico actualmente conocido que reposa sobre el Paleozoico de Málaga y su franja septentrional.

RÉSUMÉ

Des observations géologiques effectuées en 1957 et complétées en 1958, dans le massif de la Sierra Espuña ont permis de préciser quelques points de la série stratigraphique de cette région, étudiée autrefois par P. Fallo.

(1) Laboratorios de Geología del Collège de France (París), del Institut National Agronomique (París) y de la Universidad de Granada.

Dans le Lias, un nouveau gisement fossilifère, riche surtout en Ammonites et en Brachiopodes, a été découvert et attribué au Domérien moyen.

De très rares Calpionelles ont permis de montrer l'existence d'un niveau d'âge Tithonien ou Berriasien au sommet de la série calcaire du Jurassique.

Dans le Crétacé, l'âge Albien du calcaire glauconieux à faciès Gault, découvert par P. Fallot, a été confirmé par la microfaune.

Au dessus du Gault, plusieurs niveaux du Crétacé supérieur ont été repérés grâce aux microfaunes.

Cette série secondaire du massif de l'Espuña, telle qu'elle vient d'être complétée, est d'un grand intérêt du fait de ses particularités qui l'éloignent des séries homologues connues plus au Nord et par contre la rapprochent du Mésozoïque connu maintenant sur le Paléozoïque de Málaga et sur sa frange septentrionale.

INTRODUCCIÓN

La Sierra Espuña se halla a algunas decenas de kilómetros el N.E de Lorca (provincia de Murcia). Culmina a los 1.580 m. de altitud, relativamente aislada de otros relieves montañosos. Gracias a los perseverantes esfuerzos de los servicios forestales españoles, se halla hoy día cubierta, en gran parte, de bosques, y constituye, de hecho, un depósito o reserva de agua para las regiones agrícolas que la rodean.

Lo esencial de nuestros conocimientos sobre este macizo se debe a P. Fallot, quien le ha dedicado una memoria (Fallot, 1929). En su obra sobre la parte oriental de las Cordilleras Béticas (Fallot, 1945), ha ratificado y completado sus primeros datos. De estos trabajos resumimos la descripción de conjunto que exponemos a continuación:

El macizo de la Sierra Espuña que emerge, del Neógeno, a modo de una isla, se divide en dos zonas:

— Al SE., masas calizas y, sobre todo, dolomíticas, del Triás medio, suceden a un potente complejo per-

motriásico. Estas masas están dispuestas a modo de escamas empujadas hacia el NW.

— El torrente de Espuña separa dicho conjunto con respecto al macizo septentrional que culmina en el vér-

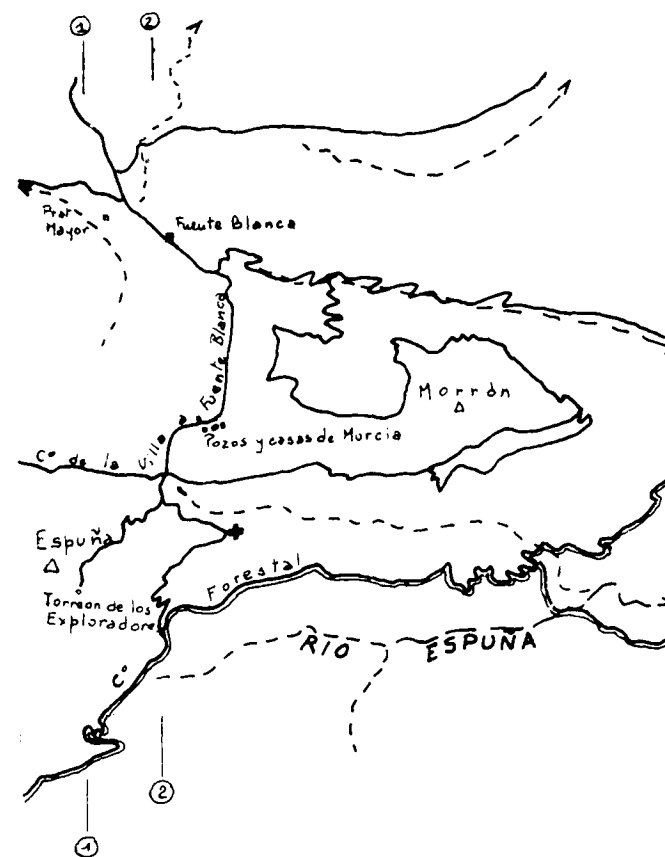


Fig. 1.

te Espuña, y que consiste en una serie normal del Lias, Dogger y Malm, seguidos de un Cretáceo incompleto y del Luteciense.

— Entre ambos conjuntos se intercalan margas ver-

des acompañadas de yesos blancos, asimilables al Keuper.

Según el mismo autor, las formaciones primarias de este macizo constituyen el afloramiento más oriental del Bético (o Manto) de Málaga; la serie secundaria y terciaria más o menos despegada que forma la cobertura de aquéllas es asimilada al Penibético.

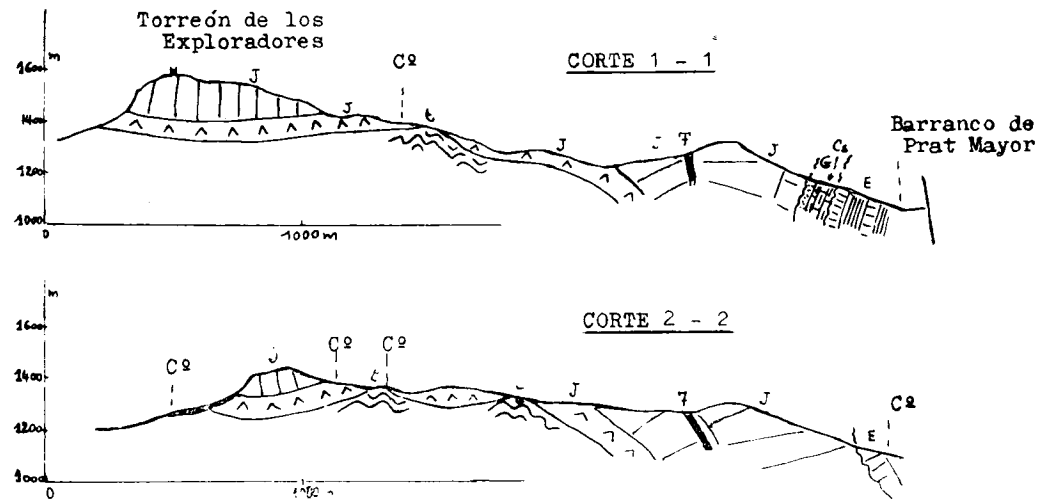


Fig. 2. —Cortes de conjunto a través de la parte Norte del macizo. (Norte a la izquierda).

Estos dos cortes meridianos distan uno de otro unos 600 metros aproximadamente.

La serie jurásica se presenta como plegada en un anticlinal, en cuyo núcleo afloran las margas yesíferas verdes o abigarradas del Trias (t)

El flanco S. del anticlinal es regular y subhorizontal; el flanco N. buza mucho más acusadamente y muestra, incluso, una tendencia a volcarse, en su parte occidental. Encima de las margas abigarradas que afloran en las Casas y Pozos de Murcia, se presenta una serie isoclinal que comprende desde el Lías hasta el Malm (3), la cual será estudiada detalladamente más adelante. Encima, en el corte 1.º, aparece el Cretáceo medio transgresivo, con facies «Gault» (6), el cual soporta, a su vez, un Cretáceo superior reducido (C). A éste sigue el Eoceno (E). En el corte 2.º, el Jurásico superior soporta directamente el Eoceno (E).

En dos ocasiones en el curso de los años 1957 y 1958 hemos pasado algunas jornadas en el macizo. Prácticamente nuestras observaciones no se han extendido, más que por la parte Norte, en la cual el terreno está aún despejado; en la parte meridional, por el contrario, el manto forestal dificulta considerablemente las observaciones. Hemos tenido la suerte de descubrir un nivel fosilífero en la formación que ya se suponía lásica, y hemos podido, en ciertos puntos, completar, precisándolas, las observaciones de P. Fallot.

Damos aquí un croquis esquemático de la región recorrida; ha sido obtenido del Mapa Topográfico a escala 1:50.000 del Instituto Geográfico y Catastral, Hoja de Coy, núm. 932 (fig. 1).

LA SERIE JURÁSICA

1) Corte del Jurásico en el Morrón de Alhama (según Fallot, 1945) (fig. 3)

Al NE. de la arista que culmina en la costa 1.580, en el Morrón de Alhama, la serie comienza con dolomías grises en bancos bastantes delgados, separados por niveles de margas irisadas (1). Las margas disminuyen gradualmente hacia arriba, a medida que aumentan los bancos dolomíticos, los cuales acaban por quedar solos (2). Más arriba, las dolomías pasan a calizas sacaroides cuya facies recuerda las del Lías inferior de Mallorca (3). En su parte alta se encuentran calizas en bancos delgados con buzamiento de 40° hacia el N., que representan el Lías medio (4).

A continuación aparece un nivel de grosor variable (0.5-3 m.) formado por oolitos ferruginosos de un tipo

parecido al Lías superior (5). En unas antiguas labores mineras hemos encontrado fragmentos de ammonites indeterminables específicamente, pero que parecen pertenecer a los géneros *Dumortieria* y *Pleydellia* del Toarciense.

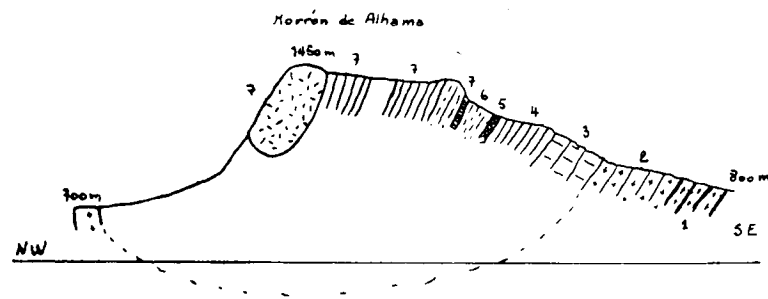


Fig. 3.

Encima de la intercalación oolítica viene un nivel margo-calizo con *Cancellophycus*, que representa sin duda el Dogger (6), seguido por calizas oolíticas blancas. Esta serie oolítica, que es muy potente, se continúa hasta la cumbre (7).

Es probable que la mayor parte de estas calizas oolíticas representen el Malm, si bien es posible que esa facies empiece ya en el Dogger superior.

2) Corte a lo largo del camino de la Villa a Fuente Blanca (fig. 4)

La parte de este camino que baja hacia el N. en una vaguada a partir de los Pozos y Casas de Murcia, nos ha facilitado un corte muy comparable al del Morrón de Alhama.

En los Pozos y Casas de Murcia afloran las margas

abigarradas con yeso del Triás (1); se trata allí del núcleo del anticlinal. Al N. y al S. dichas margas están recubiertas por dolomías grises (2) equivalentes a las del mismo número del corte del Morrón. Estas dolomías bastante potentes se hunden, a su vez, debajo de unas calizas de tinte cremoso, más o menos sacaroides:

— Calizas de color crema con manchas rojas (3), de 30 m. de potencia.

— Calizas del mismo color, bien estratificadas, con una zona más tierna en su base y trazas de organismos en su parte alta (4-50 m).

— Calizas con manchas (5-10 m.).

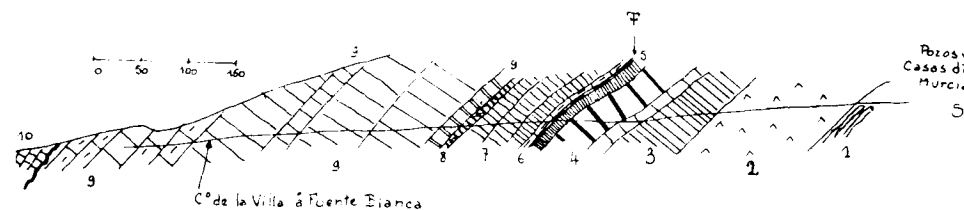


Fig. 4.

Encima se presenta un nivel de calizas margosas partido amarillentas (6) de unos 4 metros de potencia, cuya base está cuajada de fósiles en un grosor de 0,4 metros y rellena de oolitos ferruginosos (niveles 5 y 6 del corte del Morrón).

El nivel 6 desaparece debajo de una enorme masa caliza más o menos claramente estratificada, de tono grisáceo y pátina azulada, que contiene encrinus en algunos puntos (7). Sobre la misma se hallan calizas en bancos delgados, con sílex de color herrumbroso (8). Finalmente, una potente serie caliza, en bancos gruesos, termina en este corte la serie jurásica.

El Eoceno transgresivo con grandes Nummulites corona el conjunto.

La fauna domeriense del nivel de oolitos ferruginosos
(base del (6))

Esta fauna está compuesta sobre todo por ammonites y braquiópodos. Sin embargo, hemos también encontrado algunos gasterópodos y lamelibranquios. En su conjunto se halla en mal estado, los fósiles están fragmentados y, lo más corriente, en forma de moldes internos (nota 2).

La lista definitivamente establecida se da a continuación:

- Juraphyllites mimatensis* [D'Orb.].
Lytoceras del gr. *ovimontanum*, Geyer.
Lytoceras grecoi, Fucini.
Lytoceras cf. *fimbriatum*, Buckman.
Cocloceras psilocroides var. *rariocosta*, Fuc.
Coel. pettos, Quenst.
Coel. aff. *pettos*, Quenst.
Reynesoceras ragazzoni [Hauer].
Rey. aff. *tardevoluta* [Bettoni].
Rey. multicostata [Bonarelli].
Reyn. cf. *subguinum* [Menegh].
Reyn. italicum, Fuc.

(2) Esta fauna ha sido estudiada por N. P. y ha constituido una parte del objeto del Diploma de Estudios Superiores presentado a la Facultad de Ciencias de la Universidad de París. Nos complace expresar, desde estas líneas, nuestro agradecimiento al Canónigo G. Dubar, quien ha tenido la amabilidad de discutir en dos ocasiones nuestras determinaciones y, además, nos ha hecho beneficiar de su profundo conocimiento de los organismos del Eías.

- Reyn. inflatum* [Reyn.].
Arietoceras algozianum [Opp.].
Ar. apertum, Monest.
Ar. geyeri, Del Campana.
Ar. micrasterias, Menegh.
Ar. aff. *bertrandi* [Killian].
Ar. domarense, Menegh.
Ar. (?) *affricense*, Reyn. in Monest.
Harpoceras cf. *curionii*, Menegh.
Harp. cf. *pectinatum* Menegh. in Rosenb.
Protogrammoceras (?) *percostatum* Fuc.
Spiriferina ovata Seguenza.
Spiriferina compressa, Seg.
Sp. falloti, Corroy.
Sp. cf. *falloti*, Corr.
Sp. cf. *pichleri*, Neum.
Sp. cf. *gryphoidea*, Uhl.
Terebratula gozzanensis, Parona.
T. sphenoidalis, Menegh.
Rhynchonella scherina, Gumbel.
Rh. persinuata, Rau.
Pecten subreticulatus Stolizka.
P. pradoannus de VERNEUIL o *lacazei* Haime.
Tutcheria multicostata, Philips o *submulticostata*, D'Orb.
Ostrea cf. *arietis*, Quenst.
 Belemnites, Aulacoceras, Pecten y Gasterópodos indeterminados.

Conviene, finalmente, indicar que un lavado efectuado en este nivel nos ha suministrado dientes de vertebrados. El doctor C. Arambourg ha tenido la amabilidad de examinarlos y los ha relacionado con selacios de la familia de los *Hybodontidae*.

DISCUSIÓN

Los organismos en cuestión en su mayor parte coexisten en la zona de *Amaltheus margaritatus*; como quiera que este fósil escasea mucho en la cuenca mediterránea, es preciso definir cuáles pueden reemplazarle como fósiles de zona. La fauna estudiada aquí restringida a un débil grosor (0,4 m.), y, al parecer desprovista de formas removidas (*remaniées*) constituye una asociación típica del Domeriense medio. La forma más abundante aquí es el *Arietoceras algozianum*, también hallada en otros yacimientos de la zona subbética.

Conviene señalar el carácter indiscutiblemente mesoico de esta fauna; se hallan en ella especies comunes con las del Domeriense del Aveyron y de la Lozère descritas por Reynés y Monestier, pero, sobre todo, nuestra fauna es muy semejante a las descritas por los autores italianos, procedentes de los Apeninos y de Sicilia. Notemos, además, que G. Dubar (referencia oral), ha encontrado una fauna análoga en Marruecos, a la cual se asocia igualmente *Coeloceras psiloceroïdes* var. *ravicosta*.

Uno de los fósiles ha sido asimilado a *Coeloceras pettos*; en realidad, esta especie es más antigua (de la zona de *Uptonia jamcsoni* hasta la de *Prodactylioceras davoei*). Como sea que parezca inmotivado el asignar una extensión vertical mayor, se puede legítimamente dudar del valor de esta determinación.

La *Spiriferina pichleri* es una forma del Hettangiense. El fósil que atribuimos a esta especie presenta bien sus características, excepto su talla, que es mucho mayor en aquél; se tratará probablemente de una especie nueva.

La composición de esta fauna da pocas indicaciones en cuanto a la profundidad del depósito; los gasterópodos habrían podido suministrar alguna información a este respecto, pero su mal estado de conservación ha impedido su determinación. No obstante, la presencia de *Ostrea* cf. *arictis* indica un depósito próximo al litoral.

Estudio micrográfico de algunas muestras de la serie jurásica

Una lámina delgada obtenida de una muestra de la parte media del nivel 4 no presenta más que una caliza microcristalina desprovista de organismos.

Por el contrario, una muestra procedente del nivel 5 (lám. 1-fig. 1), extraída unos metros debajo del banco fosilífero, en lámina delgada exhibe una matriz cristalina cargada de oolitos y pequeños fragmentos y restos de numerosos organismos que pueden ser atribuidos a los grupos siguientes:

Equinodermos (fragmentos bastante escasos y secciones de radiolas).

Orbitolínidos.

Foraminíferos textuláridos.

Foraminíferos arenáceos diversos.

Algas (bastante frecuentes).

Thaumatoporela (?).

La repartición de estos diversos organismos es demasiado mal conocida para que puedan aventurarse conclusiones. Se puede, sin embargo, notar que una asociación análoga ha sido también hallada en el Mencil (Fallot, Faure-Muret y Fontboté, en curso de publ.), así como en la Sierra del Humilladero y en la de Arcas, por

Y. Peyre. En la Sierra de Arcas, el nivel con microfauna se halla a algunas decenas de metros por debajo del Domeriense superior datado por Ammonites.

En el macizo de España, una caliza microcristalina con microfauna y microfacies análogas ha sido encontrada en el punto marcado + en el esquema 1. Si se paralelizan estos dos niveles es probable que la serie del flanco S se eleve hasta más arriba que el Domeriense, aunque nosotros no hayamos encontrado el nivel fosilífero que, por lo demás, parece discontinuo.

Microfacies y microfauna del nivel fosilífero (base del nivel 6) (lám. 1, fig. 2)

La ganga de los fósiles en cuestión es una caliza microcristalina que contiene arcilla en bastante proporción. Es muy rica en sales de hierro que están diseminadas en forma de un velo coloreado: a menudo se concentran en oolitos ferruginosos o en las celdillas de los microorganismos, a los cuales dan un color rojopardo. En las láminas delgadas carentes de oolitos abundan las bolitas de glauconia.

Los granos de cuarzo, muy angulosos, se presentan en gran número y su tamaño es bastante grande. Este carácter detrítico constituye una anomalía en la serie jurásica de Sierra España.

Los restos orgánicos ocupan una gran parte de las preparaciones. Son relativamente poco variados y los elementos orgánicos monocristalinos atribuidos a los Equinodermos forman (placas, radiolas) la mayor parte de tales restos. Se observan, junto con ellos, secciones de Ammonites y de Braquiópodos e, igualmente, For-

miníferos pertenecientes a diferentes grupos poco característicos:

Involutina.
Nodosarios.
Lagénidos.
Lenticulina.

Hemos notado también la presencia de organismos poco conocidos, pertenecientes a los grupos:

Stomiosphaera, Wann.
Globochacte.

Así como «organismos espinosos» enigmáticos.

El nivel 5 del corte del Morrón de Alhama presenta en lámina delgada una microfacies idéntica a la de oolitos ferruginosos y restos de Equinodermos. Sin embargo, los demás organismos son tan escasos en ella como los granos de cuarzo. Nada se opone por tanto a la asimilación de ambos niveles.

LA SERIE CRETÁCEA-EOCENA DE PRAT MAYOR

Hemos localizado la serie que P. Fallot ha descrito en varias ocasiones (Fallot, 1945-1948). El corte, en el cual hemos tomado diversas muestras, es el siguiente: (fig. 5).

La serie, invertida, comienza con calizas compactas (1:100 m.), seguidas por calizas más o menos dolomíticas (2:20 m.). Seguidamente aparecen unas calizas con sílex (3:30 m.). Este conjunto corresponde a la parte terminal de la serie jurásica.

Debajo de las capas precedentes se hunde un banco

de areniscas glauconíferas (5:10 m.) tiernas, fácilmente erosionable, rico en erizos de mar y en belemnites; un delgado nivel conglomerático indica su base (4). En su coronación reposa un banco de caliza también muy glauconífera (6:5 m.). Este conjunto glauconífero constituye el Cretáceo.

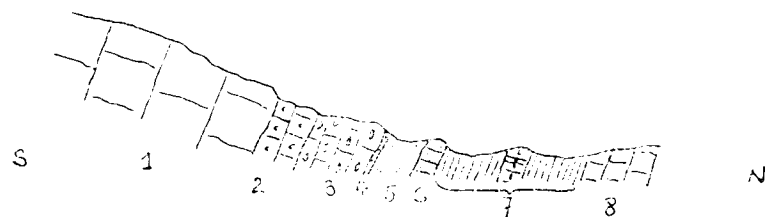


Fig. 5.

El corte se continúa con una serie de margas y margo-calizas (7) y se termina con un banco de caliza nummulítica (8).

En la serie jurásica, una muestra tomada en la parte superior de (2) no presenta, en lámina delgada, más que cristales de calcita de gran tamaño, bien recortados, probablemente de neoformación, esparcidos en una matriz granujienta. Hemos observado en ella algunos granos de glauconia, y, entre los granillos, foraminíferos y restos de equinodermos. Únicamente un resto de aiga que pensamos poder ser atribuida al género *Lithoporella* FOSLIE, permitiría considerar este nivel como Jurásico (? superior?).

Otra muestra, tomada en la porción media de la serie de las calizas con sílex (3) ha revelado, en lámina delgada, un conjunto de restos orgánicos poco característicos, pero que evocan un nivel bastante elevado dentro del Jurásico superior, debajo del Titónico con *Calpionellas*. Tales restos se presentan en una matriz ca-

liza microcristalina, en la cual abundan las sales ferruginosas y que contiene algunos granos de cuarzo redondeados y de pequeño tamaño.

La coronación de las calizas con sílex jurásicas está formada por una caliza microcristalina, con glauconita bastante abundante, rica en restos de equinodermos, textuláridos y muy escasos ejemplares de *Calpionella alpina*, L. OR. (Titónico o Berriasense). Un centenar de metros más al Este, hemos visto calizas nodulosas rojas del tipo «falsa brecha», que son conocidas en otros puntos como pertenecientes a varios niveles del Jurásico superior y del Berriasense.

Una parte del Jurásico superior y del Cretáceo inferior faltan en este corte. No obstante, se depositaron y fueron erosionados antes de la sedimentación de la caliza glauconífera (5), cuya base presenta por otra parte, un nivel conglomerático que indica la transgresión.

Esta caliza ha sido datada como Albense por P. Fallot. Contiene equínidos y belemnites, así como restos indeterminables de ammonites. Según las determinaciones de J. Lambert, P. Fallot cita las siguientes especies:

Conulus cf. *castaneus*, Brongn.

Discoides conicus, Desor.

Pygaulus, sp.

Pseudocidaris, sp.

El examen de unas láminas delgadas obtenidas en muestras de este nivel (lám. 2, fig. 1), ha permitido a J. Magné confirmar y precisar la edad de esta formación. Ha reconocido:

Numerosas Globigerinas (*Gl.* cf. *waschitensis*, *Gl.*, sp.).

Textuláridos.
Patellina, sp.
 Ostrácodos.
 Dientes de Peces.

todo lo cual fijaría una edad albense probablemente superior.

El nivel 6 presenta un aspecto muy parecido al del nivel precedente. Es ligeramente más calizo y menos cargado de glauconia. Su examen en lámina delgada revela numerosos organismos (lám. 2, fig. 2), que J. Magné ha determinado:

Globotruncana cf. *arca*.
Gl. gr. lapparenti.
Gl. cf. sigali.
Gl. del grupo *stuarti*.
Gl. spp.
Rugoglobigerina, sp.
Gumbelina, sp.
 Globigerinas, Textuláridos.

y que fijan una edad senomense superior para este nivel.

Este Senonense debe su facies aberrante (para Andalucía) al hecho de que se ha nutrido abundantemente del Albense infrayacente removido. Entre ambos pisos existe una laguna o hiato sedimentario; la ausencia de una transgresión bien marcada incita a ver allí un período de suspensión de sedimentación y de erosión submarina comparable al que ha sido descrito en otros sectores internos de las Cordilleras Béticas (Durand-Delga, Magné y Peyre, 1959).

La serie de margas y margocalizas que descansa sobre el Senonense debe ser atribuída, por lo menos en

parte, al Cretáceo terminal; en efecto, el principio de los bancos calizos muestra unas Fisurinas del tipo de *F. gracillina*, SEG. análogas a las que han sido halladas en el Maestrichtense de Caravaca (Fallot, Durand-Delga, Busnardo y Sigal, 1958). Algunas escasas *Globotruncana*, *Globigerinas*, y espículas de Esponjas las acompañan.

El nivel 8, por el contrario, es extremadamente rico. Se trata de una caliza detrítica, en la cual se encuentra, junto con granos de cuarzo muy redondeados y de gran tamaño, una microfauna muy abundante. Los señores Henson y A. H. Smout, de la «Iraq Petroleum (Londres)», han notado la presencia de los organismos siguientes:

Orbitolites complanatus.
Nummulites globulus.
Num. cf. varidarius.
Assilina, sp.
Alveolina subpyrenaica.
 Miliólidos (*Quinqueloculina*, ssp.).
 Textuláridos.

Esta asociación coloca el nivel en el Ypresense o en el Luteciense inferior. Se trata de una formación semejante en todos aspectos a la que termina el corte del Palo de Málaga. Notemos, además, que en el corte del Camino de la Villa a Fuente Blanca, el Luteciense inferior calizo descansa directamente sobre el Jurásico.

CONCLUSIONES

La serie post-triásica de la Sierra Espuña presenta un cierto número de características que la distinguen con respecto a aquéllas situadas más al N. y consideradas

como pertenecientes a las zonas subbética y prebética, según la terminología de P. Fallot y M. Blumenthal.

Por el contrario, presenta una gran analogía con la del Palo de Málaga. Esta serie depositada sobre el Paleozoico del «Manto de Málaga», ha sido estudiada recientemente con detalle. No era aún conocida por los precitados autores cuando elaboraron sus síntesis tectónicas

Las características de la serie de Sierra Espuña, interesantes desde este punto de vista, son las siguientes:

— Reducción de potencias; es particularmente clara en el Cretáceo, y debida, por una parte, al débil grosor de los sedimentos depositados, y, por otra, a omisiones de depósito y a erosiones submarinas.

— Caracteres propios de depósitos más o menos neríticos, muy detríticos, que se observan en Sierra Espuña, en varios niveles:

1. Frecuente presencia de granos de cuarzo, incluso en la serie jurásica.

2. Presencia de *Ostrca* en el Domeriense medio con oolitos ferruginosos y numerosos granos de cuarzo.

3. Existencia de un conglomerado en la base del Gault.

4. Ypresiense-Luteciense inferior detrítico y transgresivo.

Este conjunto de características apoya la interpretación de P. Fallot, en la cual el macizo es considerado como prolongación oriental del «Manto de Málaga» y se atribuye la serie post-triásica a la cobertera, más o menos despegada, de esta unidad bética; es decir, lo que M. Blumenthal ha denominado «Penibético interno».

BIBLIOGRAFÍA

- AZÉMIA, J.; DURAND-DELGA, M., y PEYRE, Y.: *Un corte del Mesozoico y del Eoceno en el Palo de Málaga*. En curso de publ. en «Not. y Com. Inst. Geol. y Min. España» (1960).
- DURAND-DELGA, M.; MAGNÉ, J., y PEYRE, Y.: *Découverte du Crétacé moyen dans la Bétique de Malaga et la Pénibétique d'Antequera*. «C. R. Ac. Sc. Paris», t. 249, núm. 25, págs. 2796-2798 (1959).
- FALLOT, P.: *Esquisse géologique du Massif de la Sierra Espuña*. «Bol. R. Soc. Esp. His. Nat.», t. XXIX, págs. 199-2115 (1929).
- — *El sistema cretáceo en las Cordillera Béticas*. «Publ. Ins. «Lucas Mallada», C. S. I. C.», Madrid (1943).
- — *Estudios geológicos en la zona subbética entre Alicante y el río Guadiana Menor*. «Publ. Inst. «Lucas Mallada», C. S. I. C.», Madrid (1945).
- — DURAND-DELGA, M.; BUSNARDO, R., y SIGAL, J.: *El Cretáceo superior del Sur de Caravaca (provincia de Murcia)*. «Not. y Com. Inst. Geol. y Min. España», núm. 50, págs. 283-290, 1 lám. (1958).
- — FAURE-MURET, A., y FONTBOTÉ, J. M.: *Observaciones geológicas sobre el macizo del Mencil y sus alrededores (provincia de Granada, Cordilleras Béticas)*. En curso de publ. por el Inst. Geol. y Min. España.
- Esta región ha sido estudiada recientemente por Enr. Dupuy de Lôme y Em. Trigueros. Ver Mapa Geológico de España. Hoja núm. 932: Coy. Inst. Geol. Min. España, Madrid, 1958.

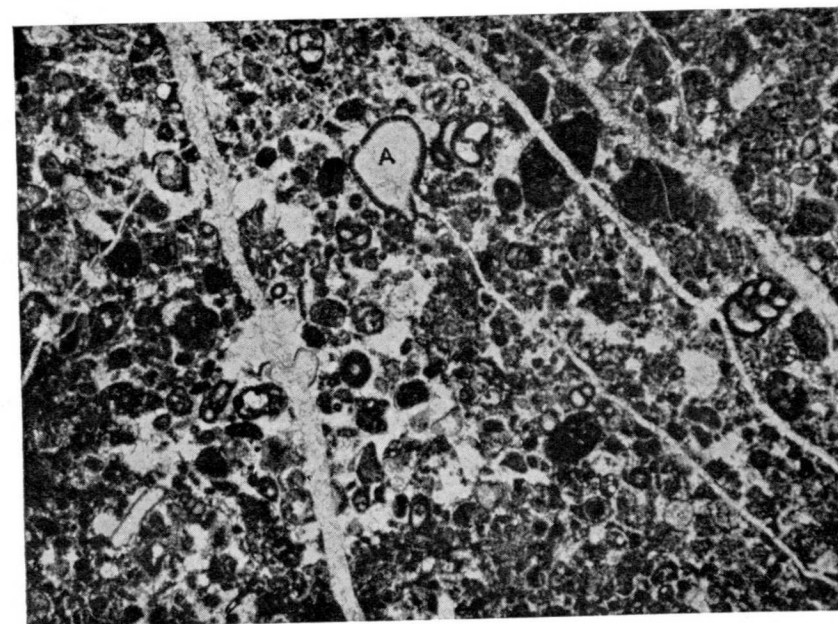
EXPLICACION DE LA LAMINA I

Lámina I, fig. 1.—Nivel de algas, algunos metros por debajo del nivel fosilífero domeriense ($\times 30$).

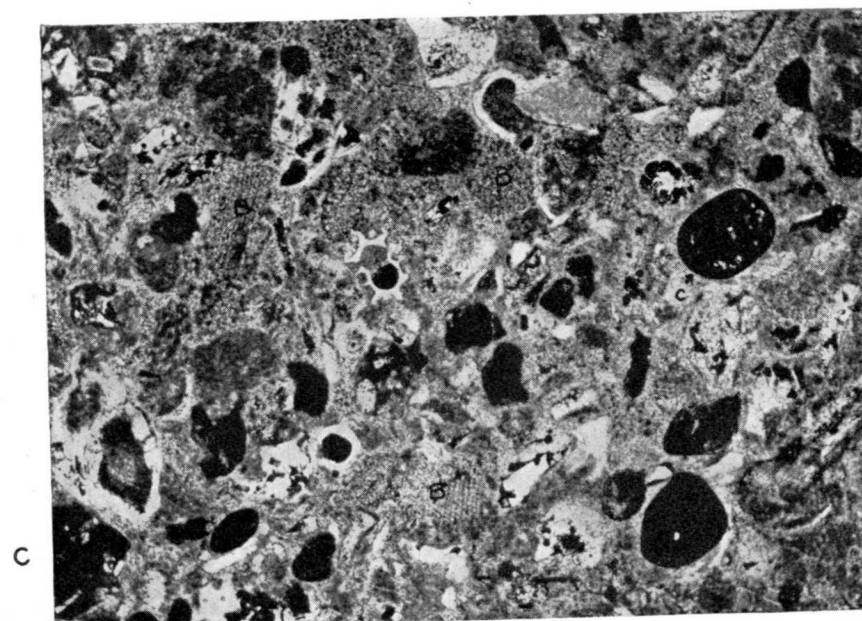
Caliza microcristalina rica en granillos arcillosos y en organismos (A): alga particularmente característica de estos niveles del Lías de España meridional; parece tratarse de una nueva especie.

Lámina I, fig. 2.—Nivel fosilífero domeriense ($\times 30$).

Caliza microcristalina arcillosa, rica en sales de hierro diseminadas o concentradas en oolitos ferruginosos (C). Restos orgánicos muy numerosos y, en particular artejos de crinoideos de aspecto enrejado (B) y foraminíferos.

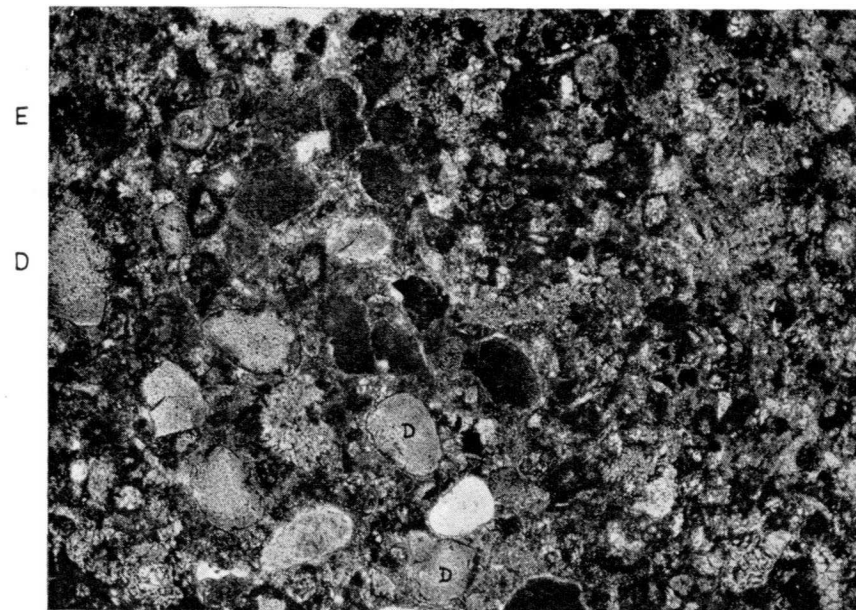


1



2

E

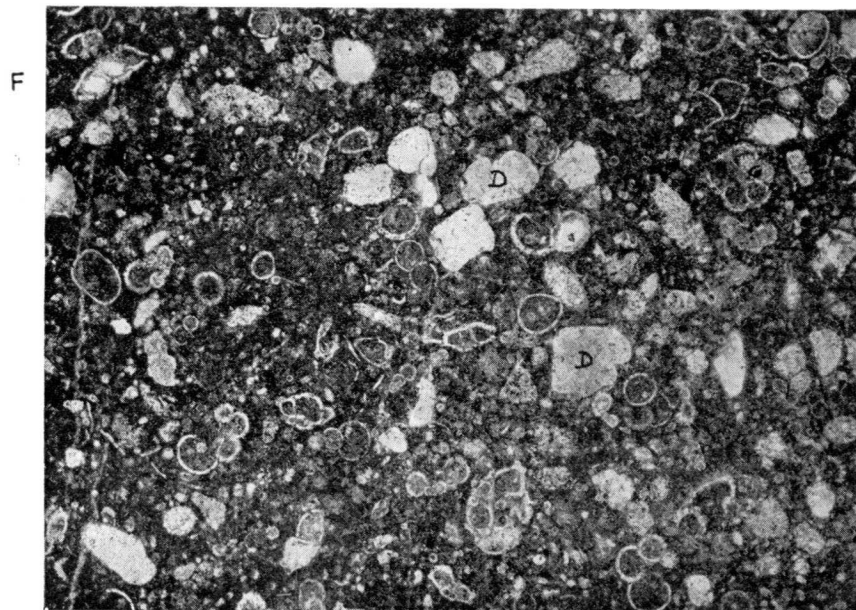


1

EXPLICACION DE LA LAMINA II

Lámina II, fig. 1.—Gault de Prat Mayor ($\times 30$).

Caliza muy detritica rica en bolitas de Glauconia (D); Globigerinas (E); poco visibles.

Lámina II, fig. 2.—Senonense de Prat Mayor ($\times 30$).Caliza microcristalina bastante arcillosa, muy detritica, rica en Glauconia (D).
Organismos: Globigerinas (G) y *Globotruncana* (F).

2

F

G



JACQUES AZÉMA, MICHEL DURAND DELGA e YVES PEYRE

CORTE DEL MESOZOICO Y DEL EOCENO EN EL PALO DE MÁLAGA (ANDALUCIA) (*)

RESUMEN

Según las observaciones y las síntesis de autores recientes, sobre el Primario de la región de Málaga, no se habría conservado ni el Jurásico ni el Cretáceo. No obstante, autores antiguos han descrito restos de estas formaciones y han dado algunos cortes. Uno de estos, cerca de El Palo de Málaga, ha sido localizado y estudiado de nuevo, y las muestras recogidas han sido estudiadas con las técnicas modernas.

Se ha llegado a la conclusión de que existe en El Palo de Málaga, una serie muy condensada, cuyos sedimentos pertenecen a los niveles siguientes: Retiense (?), Jurásico no diferenciado, que se determina por un Malm da ado, Neocomiense (rodado), Albense, Senonense, capas con *Microcodium* del Cretáceo superior o (y) del Eoceno inferior, Ypresense-Iuteciense.

Por los fenómenos observados, sedimentación reducida, suspensión en la sedimentación y erosión submarina, el Secundario de los alrededores de Málaga presenta caracteres originales con respecto al resto de las Cordilleras Béticas. Se encuentran series análogas en otros sectores del sistema alpino; bajo este aspecto, se puede comparar, legítimamente por ejemplo, la serie sedimentaria que descansa sobre el Bético de Málaga con aquella otra que se depositó en el «géosynclinal Briançonnais» de los Alpes franceses.

RÉSUMÉ

Selon les observations et les synthèses des auteurs récents il n'y aurait pas de Jurassique et de Crétacé conservés sur le Primaire de la région de Málaga. Cependant des auteurs anciens ont décrit des lambeaux de ces formations et en ont parfois donné des coupes. L'une de

(*) Traducción del original en francés por Asunción Linares, Encargada de curso, Facultad de Ciencias, Granada.

celles, ci. près du Palo de Malaga, a été retrouvée et les échantillons prélevés ont été étudiés avec des techniques modernes.

Il en ressort qu'il existe au Palo de Malaga, dans une série très condensée, des sédiments appartenant aux niveaux suivants: Rhétien (?), Jurassique non différencié se terminant par du Ma'm daté, Néocomien (à l'état remanié), Albien, Sénonien, couches à *Microcodium* du Crétacé terminal ou (et) de l'Eocène inférieur, Yprésien-Lutétien inférieur.

Par sa sédimentation réduite, les phénomènes de non-dépôt et d'érosions sous-marine qu'on y observe, le Secondaire des environs de Malaga présente, par rapport au reste des Cordillères bétiques, des caractères originaux. On retrouve des séries analogues en d'autres secteurs du système alpin; sous ce rapport, il est légitime de comparer par exemple la série sédimentaire reposant sur le Bélique de Malaga à celle qui s'est déposée sur le «geanticlinal Briançonnais» des Alpes françaises.

INTRODUCCIÓN

Se conoce el gran desarrollo del Secundario y del Nummulítico en las zonas prebética y subbética. Las zonas béticas (en sentido estricto), más meridionales, ofrecen un aspecto muy diferente.

La cúpula de Sierra Nevada y las capas de la «Mischungzone», que descansan encima, no han mostrado hasta el presente más que formaciones cristalofílicas azoicas. Por encima, las unidades alpujarrides parece que no comprenden términos más modernos que el Triás, considerando aparte el Neógeno transgresivo. En el cuadro estructural figurado por M. Blumenthal y por P. Fallot, el manto de Málaga se considera la más elevada de las unidades béticas, y por consiguiente correspondería al dominio de sedimentación más meridional antes de los corrimientos.

Se conocen a todo lo largo de su margen septentrional, pequeños afloramientos de Mesozoico y de Eoceno superpuestos al Paleozoico.

En la parte más interna, es decir, la más meridional, de esta unidad, existe además, sobre el Primario, inmediatamente al Este de Málaga, un cierto número de

pequeños afloramientos de Secundario y de Nummulítico. El objeto de la presente nota es el estudio de uno de ellos.

1. Datos anteriores sobre los alrededores de Málaga

La referencia histórica detallada será expuesta ulteriormente por uno de nosotros (J. A.). Recordemos solamente que los esquistos paleozoicos, al Este de Málaga, son asiento de un complejo detrítico rojo-violáceo, atribuido por todos los autores al Triás o al Permo-Triás.

Las calizas que vienen encima han dado hace tiempo nummulites eocénicas. (Maestre, 1846). Además, parte de los horizontes calizos serían atribuidos, según los geólogos de la «Mission d'Andalousie» (Bertrand y Kilian, 1889), al Titónico y al Neocomiense. Ansted (1857), había hablado ya de un «Jurásico» y de un «Cretáceo» con Belemnites. Sin embargo, M. Blumenthal (1930-1931), en sus notables estudios sobre el Oeste de las cordilleras béticas, atribuye sólo al Eoceno toda la serie caliza que reposa sobre el Permo-Triás de Málaga. Esta opinión es admitida por P. Fallot en sus ensayos sobre la repartición de los terrenos secundarios en las cordilleras béticas.

La localización del corte del Cortijo de Cantal, base de la descripción de M. Bertrand y W. Kilian, ha sido hecha en 1957 por uno de nosotros (Durand Delga, 1958), resumiendo los resultados de este estudio, completado después con nuevas exploraciones en 1958 en compañía de M. J. Didon y otros. Por último, la cartografía sistemática de la banda costera al Este de Málaga ha sido encargada a uno de nosotros (J. A.) con motivo de un diploma de Estudios Superiores.

Los resultados de este último estudio serán dados en un trabajo ulterior.

2. Corte del Cortijo de Cantal.

Nuestra descripción no concierne más que a los alrededores del Cortijo de Cantal, hoy convertido en ruinas, visible a algunas decenas de metros al Norte de la antigua carretera de Málaga a Vélez Málaga, entre El Palo y la Cala del Moral.

El corte levantado por W. Kilian y M. Bertrand puede ser resumido así, de abajo arriba (las atribuciones de edades son las de estos autores, pero la denominación A, B, ... de las capas, es nuestra):

A) En discordancia completa sobre el Primario: conglomerados, areniscas y pizarras rojo oscuro y violáceo («rappelant le Permien de France»).

B) Margas grises o rojizas con yeso, calizas dolomíticas en lechos muy delgados, y carniolas («sans doute du Trias supérieur»).

C) Calizas blancas compactas, «jurassiques», que terminan por calizas rosadas, brechoides, «à faciès tithonique».

D) Margas rojas y blancas, hojosas, que estos autores creen «pouvoir rapporter au Néocomien».

E) Nummulítico, formado en la base por margas grises «remplies de Foraminifères», más arriba areniscas gruesas blanquecinas con Nummulites y Gasterópodos, por último, en la cima, mármoles blancos con Alveolinas, *frecuentemente oolíticos* y en los cuales Kilian y Bertrand han observado, en un lugar, intercalaciones de areniscas oscuras y de margas con Nummulites.

El corte de conjunto (fig. 1) nos ha parecido que es el siguiente (resumiendo las observaciones hechas en cortes parciales). De abajo arriba:

1. Esquistos gris negruzco, con conglomerados finos, gris de hierro, ricos en moscovita detrítica (Devónico-Dinantiense).

2. Alternancias de conglomerados pasando a areniscas gruesas, violáceas y a areniscas más finas, blanquecinas o violáceas: potencia del orden de 75 m. (= A del corte de Bertrand y Kilian, interpretado anteriormente). El límite entre las capas 1 y 2 está muy claro; no hemos observado ninguna discordancia notable entre ellos.

3. Arcillas violáceas (de 10-15 m.) que contienen capas de yeso en su mitad inferior, de unos 2 ó 3 cm., en

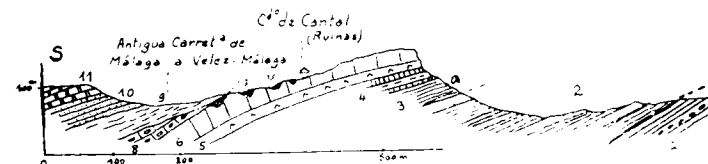


Fig. 1

superficie, pero que son explotados en galería en espesores que pueden sobrepasar 10 m. (= parte inferior de B).

4. Dolomías gris-amarillento en losas delgadas, de formas paralelepípedicas, separadas por margas grises (algunos metros) (= parte superior de B).

5. Dolomías calizas compactas, grises (10 m.) (= parte inferior de C).

6. Calizas blancas masivas, cristalinas, pseudoolíticas (del orden de 10 m.), encima de las cuales hay calizas en escamas, de grano fino, rosa, amarillo-crema o bien gris claro (= parte media y superior de C).

7. Abarrancando el nivel 6 y rellenando las fisuras se encuentra una caliza rojo-ladrillo, glauconífera (de algunos centímetros a algunos metros).

8. Calizas nodulosas gris-amarillento o rosadas (del orden de un metro).

9. Margas rosa-salmón, extraordinariamente hojosas (espesor máximo, 10 m.) con lentejones calizos, con un delgado horizonte rojo oscuro en la cima (= 7, 8 y 9, correspondientes al término D de Bertrand y Kilian): se distinguen allí a simple vista pequeñas formaciones de calcita fibrosa, las cuales asimilaremos a los *Microcodium*.

10. Margas grisáceas (10 m. como máximo), con nódulos arriñonados calizos gris-negrusco.

11. Calizas arenáceas con Alveolinas y Orbitolites, grises y arriñonadas en la base, blanquecinas y duras en la cima (alrededor de 20 m.) (= 10 y 11 correspondientes a la mayor parte del término E).

Hagamos notar inmediatamente que las capas oolíticas señaladas por Bertrand y Kilian en el seno de las calizas con Alveolinas están en realidad separadas de estas últimas por un contacto anormal, de orientación Este-Oeste; se trata de una reaparición tectónica del Jurásico (nivel 6). Este error había sido ya cometido por Ansted (1857); el geólogo inglés considera que el Terciario de Málaga contenía un mármol oolítico inmediatamente debajo de las calizas con Alveolinas.

Las calizas oolíticas eran atribuidas, por consiguiente, al Nummulítico por M. Blumenthal, e igualmente las calizas compactas y las calizas dolomíticas íntimamente asociadas. Esta interpretación la hace extensiva, el geólogo suizo, a todos los afloramientos calizos, calificándolos de eocenos —ya sean oolíticos, compactos o dolomíticos— de los alrededores de Málaga y del borde septentrional de la unidad de Málaga, entre Vélez Málaga y Casabermeja, pasando por Comares y Colmenar. En

todos estos afloramientos (observaciones inéditas de R. Busnardo, P. Fallot, J. M. Fontboté y de los autores de la presente nota), las calizas con Alveolinas existen a veces, pero las calizas jurásicas constituyen la mayor parte.

3. *Análisis detallado de la serie estratigráfica del Cortijo de Cantal.*

Vamos a examinar con más detalle los diversos términos estratigráficos del corte del Cortijo de Cantal, por encima del Paleozoico de facies «Culm» (nivel 1) atribuible a un Devónico y probablemente también a un Dinantense.

Los niveles 2 y 3 serán, como lo afirman nuestros predecesores, referidos al Permo-Trías. Ansted había observado ya las masas lenticulares de yeso de nuestro nivel 3.

Así, pues, la oposición entre Trías margo-yesífero («facies andaluza») del Subbético-Penibético externo y Permo-Trías arenoso de una unidad de Málaga, no es tan absoluta como se ha podido creer.

Los niveles 4, 5 y 6, dolomíticos y calizos, que pasan en apariencia progresivamente del uno al otro, corresponden para nosotros —como para Ansted (1857), Bertrand y Kilian (1889)— al Jurásico. El nivel 4, ya citado por Ansted con el nombre de «calizas margosas amarillo pálido», presentan una facies típica del Retiense mediterráneo.

No podemos todavía precisar, más que nuestros predecesores, la edad de las dolomías 5 y de la parte inferior y media de las calizas 6, ciertamente jurásicas, sin duda alguna.

Láminas delgadas, talladas en nuestras recogidas en diversos niveles, revelan el carácter pseudoolítico, pasando a arenoso, excepcionalmente oolítico verdadero, de estas calizas 6. El cemento calizo está recristalizado, lo que explica la fractura marmórea de estas rocas. Los restos orgánicos son raros: Ostrácodos, Foraminíferos mal conservados, Algas (Girvenellas, Estromatoporos), restos de Equinodermos y también de Briozoos. La parte detrítica está reducida a algunos pequeños granos de cuarzo.

La cima del término 6 ha podido, no obstante, ser datado como Jurásico superior. Está constituida por calizas rosadas o gris-claro, en escamas, de grano fino. Su microfauna comprende Radiolarios *Sphaeroidea*, abundantes *Globochaete alpina* Lombard, Fibroesferas (*Stomiosphaera minutissima* [Colom]), raras secciones de Crinoides *Saccocomidae* (según Verniory), fragmentos blanquiales de Holoturias, algunos Ostrácodos y Foraminíferos arenáceos.

Los *Saccocomidae* no son conocidos, en nuestras regiones, más que del Argoviense al Berriasense (inclusive). El aspecto y la abundancia de *Globochaete alpina* (cuya repartición stratigráfica global es muy amplia) hacen sospechar que se trata aquí del Malm superior.

Las calizas rojo-ladrillo del nivel 7, visibles alrededor de las ruinas del Cortijo de Cantal, son de muy poco espesor. Se encuentran rellenando estrechas y profundas fisuras cársticas y cementando las calizas en escamas del Malm. A algunas decenas de metros, al Norte y por encima del cortijo, estas calizas 7 aparecen directamente sobre las calizas marmóreas del Jurásico más antiguo.

En lámina delgada, esta caliza ferruginosa está cargada de glauconia, a veces concentrada en determina-

dos puntos. La microfauna, determinada por M. J. Magné, comprende además de fragmentos de Equinodermos (principalmente Crinoides), las siguientes formas, observadas también en lámina delgada: Globigerinas muy abundantes, *Biticinella* cf. *breggiensis* (Galdolfi), *Lenticulina* sp., *Patellina* (?) sp., *Textularidae*, etc. Se trata del Albense, probablemente superior.

A veces, esta caliza 7 presenta un aspecto ligeramente noduloso. Incluye pequeños fragmentos redondeados de una caliza gris-claro, que parece fundirse en la caliza roja albense. Estos fragmentos son restos del Neocomiense (Berriasense probable) con *Calpionella* gr. *elliptica* Cad., *Tintinnopsella carpathica* Murg. y Fil., *Globochaete alpina*, *Stomiosphaera minutissima*, cápsulas espinosas calificadas por Vogler (1941) de «*Stomiosphaera spinosa*», pero en realidad de atribución incierta. Radiolarios *Sphaeroidea*, *Robulus*, pequeños fragmentos de *Aptychus*, etc. En ciertos casos, estos microorganismos, a pesar de su fragilidad, son completamente aislados de su ganga caliza gris: sin un examen meticuloso, podrían aparecer como contemporáneos de la microfauna albense vecina.

El nivel 8, ausente en los bordes inmediatos del Cortijo de Cantal, donde las margas 9 reposan directamente sobre el Albense (nivel 7), ha sido puesto de manifiesto a un centenar de metros más al Oeste, a lo largo de la antigua carretera. Escombros ocultan sus relaciones con los niveles más antiguos. Las calizas del nivel 8, nodulosas y mal estratificadas, no difieren apenas a simple vista de aquellas otras de la parte superior del nivel 6 (Malm superior).

En lámina delgada aparece como microcristalina, observándose también pequeños granos angulosos de cuarzo que salpican la roca.

La microfauna, abundante, indica el Senonense: Rosalinas, Globigerinas de paredes delgadas, Gumbelinas (de gran talla frecuentemente), «Fissurinas» (*Pithonella* gr. *ovalis* Kauf.), prismas de *Inoceramus* dispersos. Según M. J. Magné, las Rosalinas (aisladas por la acción del ácido acético) pertenecen a las especies siguientes: *Globotruncara arca* (Cush.), *Gl. paracentrico* (Hofker), *Gl. fornicata* Plummer, *Gl. cf. sigali* Reichel, *Gl. gr. lap-parenti* Brotzen, *Gl. cf. coronata* Bolli. Se trata por consiguiente del Senonense medio (Santonense-Campanense).

El nivel 9 se sobrepone al Senonense y, en el Cortijo de Cantal, directamente al Albense. Sus margas hojosas duras, de tinte rosado, contienen pequeños fragmentos de caliza gris oscura, que deben identificarse con los «galets de calcaires jurassiques», observados en este nivel por Bertrand y Kilian.

Estas margas rojas, al ser lavadas, han dado, desde su base, abundantes *Microcodium*, concreciones fibrosas de calcita que se atribuyen generalmente a Algas de posición sistemática dudosa, y algunos pequeños Foraminíferos deteriorados que proceden de capas anteriores (*Globotruncana* cf. *sigali*, variedad espinosa: determ. J. Sigal).

Los nódulos calizos incluidos en estas margas están también constituidos por acumulaciones de *Microcodium* en una matriz de caliza arcillosa que engloba pequeños granos de cuarzo anguloso y una pequeña parte de glauconia. Un horizonte rojo oscuro corona este nivel 9: está formado por una arcilla ferruginosa repleta de *Microcodium*.

El nivel 10 (que Bertrand y Kilian consideraban equivocadamente «rempli de Foraminifères»), a pesar de su aspecto macroscópico muy diferente, está igualmente formado —tanto las margas grises como los nódulos de ca-

lizas arcillosas grises— por acumulaciones de *Microcodium*, con algunos pequeños Foraminíferos rodados (*Gyroidina* sp.: determ. J. Sigal), probablemente procedentes del Cretáceo infrayacente.

Las margas rosas 9 y las margas grises 10 están intercaladas entre el nivel 8 (Senonense y el nivel 11 (Ypresense). Representan, pues, la parte más alta del Cretáceo superior, el Paleoceno, o bien las dos cosas a la vez.

Es el momento de recordar a los *Microcodium*, a pesar de su amplia repartición en el tiempo (so pena de que no se haya llegado a diferenciar las especies), pues muestran una superabundancia entre el Senonense superior y el Luteciense: en los Alpes franceses (A. Faure-Muret y P. Fallot, 1954), en Provenza y Languedoc (P. Demangeon, 1956), en los Pirineos (M. M. Rech-Frollo, 1948), en Aquitania (J. Cuvillier, 1956), y más cerca de nosotros, en el Flysch de Colmenar (Y. Peyre, 1959), en el del Campo de Gibraltar (observaciones inéditas de J. Didon, 1958-1959) y en el Rif septentrional (M. Blumenthal, M. Durand Delga y P. Fallot, 1958).

El nivel 11 termina el corte observable en El Palo de Málaga. Relativamente margoso en la base, más compacto en la parte superior, sus calizas son ricas en granos de cuarzo: los pequeños son angulosos, los más grandes redondeados. Se destacan también laminillas detriticas de moscovita y de biotita, feldespatos (anortosa autógena?), y un poco de glauconia.

Los organismos también están presentes. D'Archiac (1850), según las recogidas de muestras de De Verneuil, citaba ya horizontes análogos: «*Nummulina baritziana* d'Arch. 1837» (= *Nummulites atavicus* Leym.), «*Nummulina ramondi* Defrance 1825» (= *Nummulites globulus* Leym.), «*Nummulina spira* de Roissy 1805», llamada to-

davía «*N. moneta* Defr. 1825» (que es la actual *Assilina spira* [De R.]), *Operculina boissyi* d'Archiac 1850.

Alveolina elliptica d'Arch. y Biloculinas. Ansted (1857) citada ya Alveolinas y Orbitolites.

Nuestras láminas delgadas, examinadas por los señores Henson y A. H. Smout, del Irak Petroleum Co. (Londres), han revelado en todos los niveles la presencia de abundantes Orbitolites (*Orb. somplanatus* Lmk., *Opertorbitolites douvillei* Nuttall), Alveolinas (*Alv. subpyrenaica* Leymerie), Assilinas (*Ass. granulosa* [d'Archiac]), Nummulites (*Numm. cf. exilis* Douvillé), frecuentes *Cibicides*, Miliolas (*Quinqueloculina*), pequeños Rotálidos. Se observan además pequeñas Melobesias y fragmentos de Ortofragminas, de Equinodermos y de Briozoarios.

Esta asociación permite clasificar este nivel calizo 11 en el Ypresense o en el Luteciense inferior (cf. Blumenthal, 1930).

CONCLUSIONES GENERALES

La evolución paleogeográfica del Mesozoico y del Terciario de los alrededores de Málaga será dada a conocer por uno de nosotros (J. A.), posteriormente, como consecuencia del estudio detallado que ha emprendido. De momento nos limitaremos aquí a las observaciones siguientes:

El Paleozoico, que forma las partes más internas de la unidad de Málaga, es asiento de sedimentos esencialmente marinos desde el Trías al Eoceno medio. Las facies del Jurásico y del Cretáceo son parecidas en general, a aquellas formaciones contemporáneas situadas en la margen externa de esta unidad, es decir, al Oeste y al

Norte (Penibético interno de Blumenthal), en particular por su pobreza en materiales detríticos. Pero la serie **estratigráfica** de los alrededores de Málaga es reducida (fenómenos de sedimentación condensada, de no depósito y de **erosión submarina**) en el momento en que en las zonas «geosinclinales» más septentrionales («Penibético externo de M. Blumenthal y Subbético») se acumulaban sedimentos de gran potencia.

Es importante señalar la ausencia total de Flysch en esta cobertura secundaria y eocena de Málaga, mientras que en el Campo de Gibraltar, a un centenar de kilómetros más al Oeste, tales facies comprenden un cierto número de pisos, comprendidos entre el Titónico (Didon y Durand Delga, 1959) y el Oligoceno superior.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ANSTED: *On the geology of Malaga and the southern part of Andalusia*. «Quart. Journ. Geol. Soc.», Londres, p. 585, 1857.
- (2) BERTRAND (M.) et KILIAM (W.): *Etudes sur les terrains secondaires et tertiaires dans les provinces de Grenade et de Malaga*, in *Mission d'Andalousie*, «Mém. Ac. Sc. Paris», t. 30, núm. 2. Paris Impr. Nat., 1889.
- (3) BLUMENTHAL (M.): *Beiträge zur Geologie der betischen Cordilleren beiderseits des Rio Guadalhorce*, «Ecl. Geol. Helv.», vol. 23, páginas 41-293, 1930.
- (4) — — : *Géologie des chaînes pénibétiques et subbétiques entre Antequera et Loja et des zones limitrophes (Andalousie)*, «Bull. Soc. Géol. France», t. (5) I, pp. 23-94, 3 lám., 1931.
- (5) D'ARCHIAC (A.): *Historie des progrès de la géologie de 1834 à 1849*, «Publ. Soc. Géol. France», t. 3, 1850.
- (6) DIDON (J.) et DURAND DELGA (M.): *Existence d'un Flysch marinogréscoux du Tithonique-Néocomien au Nord de Gibraltar (Espagne méridionale)*, «C. R. Ac. Sc. Paris», t. 248 pp. 2779-2781, 1959.
- (7) DURAND DELGA (M.): *Titres et travaux scientifiques*, Paris, Impr. Preister, 35 p., 1958 (voir p. 21).
- (8) FALLOT (P.): *Essais sur la répartition des terrains secondaires et tertiaires dans le domaine des Alpides espagnoles, I. Le Trias*

- (1931); 2. *Le Lias* (1932); 3. *Le Dogger* (1933); 4. *Le Jurassique supérieur* (1934). «*Ass. Et. Géol. Méd. occid.*», vol. 4, Barcelona, 1931-1934.
- (9) FALLOT (P.): *El sistema cretácico en las cordilleras béticas*, «Publ. Cons. Sup. Inv. Cient.», Centro «Lucas Mallada», Madrid, 1943.
- (10) MAESTRE (A): *Ojeada geognóstica sobre el litoral mediterráneo*, «An. Minas», t. IV, 1846.
- (11) MALLADA (Lucas): *Explicación del Mapa Geológico de España*, «Mem. Com. Geol. España», t. IV (1902) y t. V (1904).
- (12) ORUETA (D. DE): *On some points of the geology of the neighbourhood of Malaga*, «*Quart. Journal Geol. Soc.*», Londres, volumen XXVII, 1871.
- (13) PEYRE (Y): *Présence d'éléments allochtones dans la zone du Flysch de Colmenar (Andalousie)*, «C. R. Ac. Sc. Paris», 1959, t. 249, página 2.086-2.088.

AGUSTIN NAVARRO y EMILIO TRIGUEROS

NUEVO YACIMIENTO PALEONTOLOGICO EN LAS SERIES BETICAS (VELEZ BLANCO- LUMBRERAS)

RESUMEN

En las series béticas del SO. de la provincia de Murcia ha sido encontrado un yacimiento fosilífero, cuya situación estratigráfica y fauna se describen.

SUMMARY

A fossiliferous bed has been found in the betic series to the SW. province of Murcia. Its stratigraphic situation and fauna are described below.

Entre la Sierra de Las Estancias y la Sierra Tercia o Chichar, hay una considerable extensión montañosa, al sur de la cual discurre la carretera general de Murcia a Almería.

Todo este macizo se extiende al NO. entre Lorca y Lumbreras, y tiene como pico más alto el vértice Peña Rubia. La zona queda cubierta por las Hojas geográficas escala 1/50.000 de Vélez Blanco (952), Lorca (953), Vélez Rubio (974) y Lumbreras (975).

El objeto de la presente nota es dar noticia de un yacimiento paleontológico, que hasta ahora no se ha citado en la región. Los ejemplares recogidos están actualmente pendientes de clasificación, y aunque escasos y mal conservados, su situación en el complejo bético les

da gran interés para la determinación de la edad de las series metamórficas béticas.

El corte que vamos a describir comienza en la margen derecha del río Corneros (Hoja de Vélez Rubio), entre las cabezas Cerro Colorado y El Cimbre, y se prolonga hacia el Sur por el Campico, Cuerda de los Olivares y luego rambla arriba.

- 1) Arcillas y pizarras arcillosas verde oscuro, 150 metros.
- 2) Dolomías y calcoesquistos tableados, 50 m.
- 3) Tramo rojo hez de vino. Pizarras arcillosas, areniscas, cuarcitas hacia la base y un nivel de pudinguilla de cuarzo blanco avellanado con cemento arcilloso rojo, 200 metros.
- 4) Esquistos marrones con algún nivel arenoso y calizo y algún banco rojo pizarroso intercalado, 150 metros.
- 5) Complejo arcilloso marrón azulado con calcoesquistos, grauwackas, areniscas ya calizas en bancos de poca potencia, tableados. En la base la serie se hace más areniscosa, 240 metros.
- 6) Potente complejo esquistoso de pizarras, filitas, niveles de mármol e intrusiones básicas, que forman anfíbolitas insertas como interestratificadas. Serie del Campico de los López (Hoja de Lumbreras, al norte de la Sierra Almenara), 500 metros.
- 7) Filitas brillantes abigarradas, azules intenso y moradas, alternando con pequeñas intercalaciones de cuarcitas blancas (10 m.), 700 metros.

Toda esta serie es perfectamente concordante, salvo entre los niveles 5 y 6, donde la concordancia no aparece completamente clara, pero tampoco parece discordancia.

En el nivel 5, cerca de la Casa de los Coroneles y a la izquierda del camino, hay un barranquillo que va a dar

a la rambla, y en él hemos encontrado el yacimiento en cuestión.

Consiste en una asociación, dentro de un paquete de 4 ó 5 metros de potencia, de *tallos vegetales*, en pizarras y grauwackas con pequeños *amonites* limonitizados.

Tan pronto como sea posible, daremos los datos de su clasificación.

Queremos, por último, apuntar dos ideas:

a) Si los amonites son, como parece, triásicos, la serie hez de vino, 3, que hasta ahora se asimilaba al Permotriás, habrá que referirla íntegramente al Triás.

b) La identificación del nivel 7 con las filitas werferrienses de la unidad de las Alpujarras (según Patijn y otros) es absoluta. En nuestros estudios en la zona hemos podido comprobar la discordancia mecánica entre estas filitas y las potentes dolomías y calizas que ocasionalmente reposan sobre ellas. Hemos visto asimismo reposar estas dolomías y calizas sobre el nivel 6 también, por lo que nos parece preciso eliminar de la serie de las Alpujarras la asociación permanente filitas y calizas-dolomías, por lo menos por lo que a este área murciana respecta.

A. ALMELA y T. FEBREL

LA ROCA FRAILESCA DE ALMADEN: UN EPISODIO TOBACEO EN UNA FORMACION BASALTICA DEL SILURIANO SUPERIOR

RESUMEN

La roca fraileasca del distrito minero de Almadén, ha venido denominándose brecha tectónica desde que así fué clasificada en 1924.

Probamos en esta publicación que la fraileasca es una toba volcánica de una potente formación basáltica del Siluriano superior.

Parece existir cierta relación entre tobas y metalización, pues en las dos principales minas de mercurio, Almadén y Valdeazogues, las rocas volcánicas, superiores a la cuarcita del criadero tienen textura tobácea (piroclástica), y no se conocen minas, al menos de cierta importancia, si no existen tobas en los niveles volcánicos superiores a la cuarcita del criadero. La metalización parece ser posterior a las fallas regionales Norte-Noroeste y por tanto mucho más moderna que las lavas basálticas silurianas.

Acompañamos un plano con la geología y estructura de la región comprendida entre Almadén y Valdeazogues.

SUMMARY

The classification of the rock called fraileasca in the mining district of Almadén as a tectonic breccia has lasted since so was classified that rock in 1924 until now.

We prove in this paper that the fraileasca is not a breccia but an upper Silurian volcanic basic tuff in an extensive volcanic episode of the same age.

There seems to exist an indirect relation between the tuffaceous horizons of the volcanic rocks and the mercury mineralisation, since the two principal cinnabar mines, Almadén and Valdeazogues, are in those places where the impregnated upper Silurian quartzite is near the fraileasca or tuffaceous rock and where the tuffs have the greatest thickness of the district; but there are no mines where the quartzite

is found near pure volcanic rocks. The mineralisation seems to be post faulting and consequently much younger than the formation of the upper Silurian volcanics.

We enclose a map with the geology and structure of the region between Almaden and Valdeozogues.

LA ROCA FRAILESCA DE ALMADÉN

En el estudio geológico previo realizado por uno de nosotros en la mina de Almadén y sus alrededores (A. Almela, *Esquema geológico de la zona de Almadén* «Bol. del Inst. Geológico y Minero de España», t. LXX, Madrid, 1959), llamó la atención la interpretación que se daba a la curiosa roca existente en las plantas superiores de la mina, conocida vulgarmente con el nombre de «piedra frailesca».

Viene considerándose ésta como una brecha de falla, pero tanto la tectónica regional como el gran espesor de la roca en cuestión y su composición y textura, hicieron pensar que no podía tratarse de una tal brecha.

No pudo efectuarse entonces un detenido estudio petrográfico de la roca, ni un minucioso reconocimiento de la mina, y por ello quedó planteado este interesante problema, que no ha cesado de excitar nuestra curiosidad y el deseo de llegar a una acertada interpretación del tipo de roca de que se trata, así como de su relación con el criadero.

Por parte de Ingenieros del Instituto Geológico se lleva a cabo actualmente en la comarca de Almadén, con motivo de haber sido encargado el referido Centro por el Consejo Directivo de Minas de Almadén de la realización de un plan de investigación encaminado a incrementar las reservas de mineral de mercurio, un estudio geológico minucioso del territorio que forma la

concesión (casi cuatro Hojas 1:50.000), iniciado a principios del pasado otoño, así como una investigación petrográfica y estructural detallada de las distintas plantas de la mina de Almadén, cuyos ocho pisos superiores permiten efectuar un buen reconocimiento de la unidad petrográfica a tratar en este artículo, pues el transversal que une al pozo San Teodoro con el de San Aquilino, en todos esos pisos está abierto exclusivamente en la llamada roca frailesca. Esto nos ha deparado la oportunidad hace tiempo deseada de estudiar detenidamente la roca, su relación con las demás del criadero, y llegar a una interpretación que creemos más ajustada a la realidad.

Dada la importancia que para nosotros encierra la mina de Almadén y todo cuanto con ella se relaciona, hemos creído oportuno revisar la literatura existente sobre la denominada roca frailesca y aportar los datos acumulados en nuestras observaciones de campo y en el estudio petrográfico de láminas delgadas de esa formación.

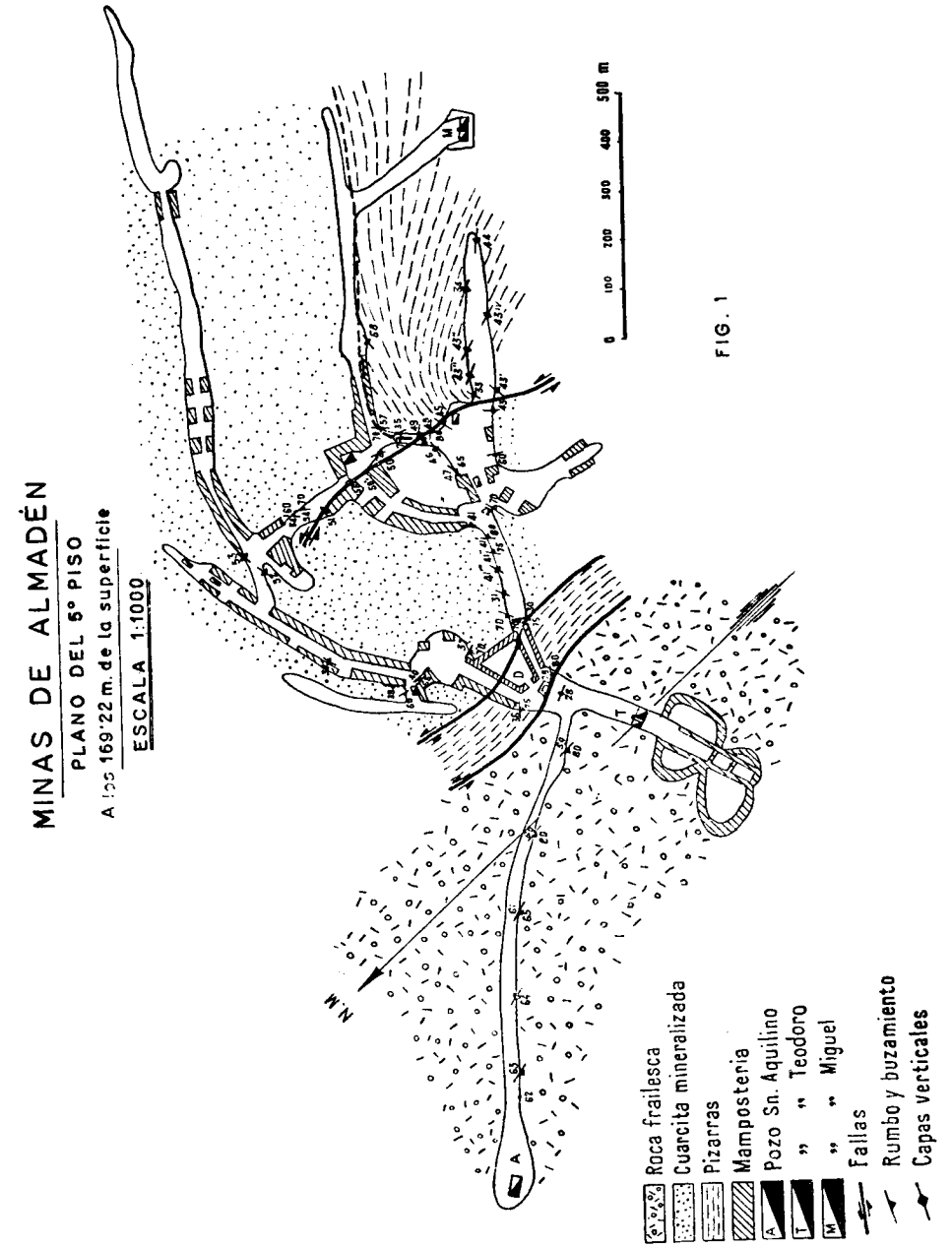
De los trabajos antiguos que sobre la roca frailesca existen, merecen citarse el de R. W. Van der Veen, *The Almaden Mercury Ores and their connection with igneous rocks* (reprinted from *Economic Geology*, vol. XIX, número 2, March, 1924) y el de las *Rocas Eruptivas de Almadén*, por don Salvador Calderón y Arana («Anales de la Sociedad Española de Historia Natural», t. XII, cuaderno núm. 2, 1.º de octubre de 1884).

Calderón llama a la frailesca toba diabásica y dice que su denominación se debe a sus colores, que recuerdan los del hábito de los frailes franciscanos que en otro tiempo vivían en un Convento del pueblo. Añade que se encuentra en Almadén en contacto con las capas cinabriferas y siempre con estructura pizarrosa, al menos

vista en grandes masas. El espesor de la formación que constituye no baja de 50 m. ni su extensión conocida de 300 a 400, originando una gran lenteja, incluida entre otras formaciones. Termina diciendo, que aunque antiguamente era llamada grauwacka pizarrosa, no es más que una toba diabásica formada por restos de esta roca eruptiva y de algunos de otras silúricas sedimentarias cementadas después.

Van der Veen dice en las conclusiones de su trabajo: «The frailesca therefore does not represent a tuff, as is believed, but it is a real fault breccia, and its age is not the same as that of the Silurian sediments in which it occurs. It must be older than the faulting by which it is crushed». La opinión de Van der Veen es la dominante hoy en día, es decir, la de que la roca frailesca es una brecha tectónica.

Siempre dudamos, una vez que hubimos bajado a los pisos superiores de la mina de Almadén, que la frailesca pudiera ser una brecha tectónica. De otra forma ¿cómo cabría explicar su potencia, puesto que al ir de San Teodoro a San Aquilino se la corta con un espesor de unos 50 m.; y su solidez, pues las galerías abiertas en frailesca no muestran entibación alguna, ni la necesitan, ya que en plantas abandonadas por decenios son las únicas galerías seguras, donde no existe riesgo de hundimientos? En cambio, en estas plantas superiores los lugares donde las galerías son cruzadas por fallas están protegidos con madera o mampostería, muy especialmente la brecha de falla de unos 10 m. de longitud que separa a la frailesca de la cuarcita metalizada, y está formada por pizarras que se orientan paralelamente al plano de falla y que en la época de la rotura debieron actuar como un material plástico, introduciéndose a lo largo de la fractura. Finalmente, ¿cómo podría expli-



carse el hecho de que la fraileasca contenga carbonatos no introducidos (pues produce efervescencia con ClH diluido), y de la existencia de las numerosas estalactitas de calcita que tienen todas las galerías abiertas en fraileasca? Una brecha tectónica no debe contener más material, aparte del introducido, si existe, que el de las rocas adyacentes afectadas por la rotura, y en el siluriano de Almadén no existen calizas. En el esquema 1 indicamos la disposición de los materiales pétreos en los trabajos de explotación de uno de los niveles superiores, el de la planta 5.^a; la orientación del bedding o estratificación tomada en las distintas estaciones de nuestro recorrido por esa planta, sirve para indicar la disposición de las distintas formaciones, así como el sentido de movimiento relativo de las fallas reconocidas. El rumbo anormal del bedding sirve igualmente para detectar fallas menores, que podrían escapar a la observación directa.

El estudio geológico de la comarca de Almadén (ver mapa adjunto) también nos ha proporcionado importantes datos sobre la identidad de la fraileasca, pues rocas muy análogas han sido encontradas en la mina Valdeazogues, situada próxima al kilómetro 17 de la carretera de Almadén a Puertollano (30-T), en Las Cuevas, otra manifestación cinabrifera entre los kilómetros 7 y 8 de la carretera de Almadén a Saceruela (20-T), y al Oeste de la mina de Almadén en un camino Norte-Sur (47-T), que conduce desde una curva pronunciada de la carretera a Posadas, situada a la salida de Almadén, al pueblo de Chillón, y también en este punto tiene un rumbo anormal, diferente del regional, sensiblemente Este-Oeste, debido a pequeñas fallas de desgarre (tear or wrench faults). También tienen textura fragmentaria, como la de la fraileasca, las rocas de dos

afloramientos situados junto a la carretera Almadén-Puertollano, al Este de Almadenejos (ver mapa adjunto). Su posición estratigráfica es idéntica en todos estos lugares. Por encima de la cuarcita metalizada (según nuestro conocimiento actual una sola de las cuarcitas del Siluriano está impregnada y sustituida por la metalización cinabrifera, perteneciente al Siluriano superior), existe un nivel de pizarras grises con graptolites, nivel que en Valdeazogues muestra una potencia de 40 a 50 m., y encima la roca fraileasca, con afloramientos de forma irregular, de bedding o estratificación poco neta, excepto cuando aparece intercalada con pizarras, casos en que se observa una visible laminación que nos permite medir su orientación. En Valdeazogues la roca fraileasca tiene una potencia mínima de unos 100 m.

Todos estos datos nos afianzaron en la idea que desde un principio tuvimos de que la piedra fraileasca formaba una unidad estratigráfica definida, y no era una brecha tectónica, pues de otro modo mal podría justificarse su situación, en el mismo horizonte estratigráfico, en lugares como en Valdeazogues y Las Cuevas, que distan de Almadén 17 y 8 kilómetros respectivamente.

La fraileasca de los lugares citados es una típica brecha, con buena proporción de material detrítico de forma angulosa, sinónimo de poco transporte. De visu no puede establecerse la naturaleza de los componentes clásicos y para su identificación el estudio microscópico es indispensable.

Como puede observarse en el mapa que acompañamos, la columna estratigráfica comprendida entre la cuarcita metalizada del Silúrico superior y la cuarcita de la base del Devónico esta formada, entre Almadén y Valdeazogues, las dos principales minas cinabriferas de la

región, por rocas lávicas y niveles arcillosos pizarreños. Existe un marcado predominio de lavas sobre pizarras desde Valdeazogues a las proximidades de Almadén, donde comienza a observarse un aumento en la proporción de sedimentos arcillosos que dominan sobre las lavas en el corte transversal de la carretera de Chillón a la estación de este pueblo.

Las lavas son de carácter básico, tienen color oscuro y fractura concoidea. En la estación 23-T de nuestros recorridos de superficie, próxima al cruce de la carretera a Almadenejos sobre el Valdeazogues, las lavas son amigdaloides y muestran un comienzo de estructura almohadillada (pillow lava). Están sumamente fracturadas por hallarse en las proximidades de una gran falla de desgarre Norte-Noroeste. En 55-T, al Este de Almadenejos, lavas interestratificadas con sedimentos arcillosos presentan disyunción columnar o prismática, de aristas normales a la estratificación. Han sufrido las mismas vicisitudes que los sedimentos con que aparecen interestratificadas y con ellos están plegadas y falladas, mostrando intrincados pliegues las situadas al Sur de la Casa de los Santos, al Este de la carretera de Almadenejos a Gargantiel. Todo ello es prueba de su formación anterior a la época del diastrofismo herciniano, en un fondo geosinclinal en que alternaron procesos eruptivos y sedimentarios. Son lavas pertenecientes al magmatismo inicial de carácter básico.

La estructura es bastante simple al Este de Almadén, y las formaciones del Silúrico y Devónico presentadas en el mapa forman la rama Sur de un sinclinal Este-Oeste de fondo Devónico y eje situado al Norte de Chillón. La única complicación la proporcionan fallas Norte-Noroeste de desgarre (tear o wrench faults) que desplazan a los bloques orientales hacia el Sureste respecto

de los occidentales; son fallas regionales (con la misma orientación las hemos visto en la Hoja de Santa María de la Cabeza) originadas por presiones Norte-Sur normales a la dirección del eje de plegamiento.

En Almadenejos la complicación aumenta. Al Norte de la estación de este pueblo la cuarcita de la base del Devónico forma un pequeño bucle anticlinal, con buzamiento hacia el Norte en sus dos flancos, cortado por una falla Noroeste-Sureste (al Sur de esta falla existen en esa misma formación unas canteras de caliza fosilífera con Spirifer y crinoides 67-T) y al Norte de la mina de Valdeazogues la cuarcita de canteras, segunda formación silíceas del Siluriano, forma otro pequeño bucle anticlinal, en el interior del sinclinal principal, y entre ambos las cuarcitas silurianas, especialmente los crestones de la cuarcita del criadero al Norte de la carretera a Puertollano, están interrumpidas y desplazadas por las fallas regionales Norte-Noroeste referidas. Las rocas lávicas constituyen un valioso horizonte guía, ya que en el Silúrico sólo existen por encima de la cuarcita del criadero y al encontrarlas y saber que no nos hallamos en Devónico, terreno en el que también existen lavas análogas que aquí no estudiamos, pero que es fosilífero y contiene tramos calizos, sabemos que nos encontramos en Siluriano superior.

El mayor espesor lávico puede medirse al Oeste de Almadenejos, donde buzando las capas hacia el Norte ángulos superiores a los 60°, las lavas y los escasos sedimentos arcillosos intercalados alcanzan potencia próxima a los 1.000 m.

Una correlación de todas estas rocas, halladas en análogos niveles estratigráficos, debía efectuarse con el microscopio petrográfico.

ESTUDIO PETROGRÁFICO DE LA ROCA FRAILESCA
DE ALMADÉN

Se compone de material detrítico y un cemento arcilloso intersticial. Nunca hemos reconocido cemento de precipitación química.

Tiene textura piroclástica. El material detrítico es en parte lítico, formado por fragmentos de rocas volcánicas y de rocas metamórficas de la epizona, pizarras o areniscas metamórficas con cemento arcilloso, y en parte mineral, formado por secciones de cuarzo onduloso, plagioclasa maclado (una variedad alcalina a juzgar por la naturaleza del maclado), un feldespato no maclado, parcialmente metasomatizado por carbonatos, láminas de mica, secciones de clorita, probablemente pseudomórfica de minerales ferromagnesianos, alguna sección de turmalina o piritita e ilmenita leucóxenizada. El cemento arcilloso, generalmente abundante, suele estar muy impregnado y sustituido por carbonatos y en proporción muy inferior por una fina calcedonia. Desde luego, el cemento arcilloso está mucho más intensamente metasomatizado por carbonatos que el material fragmentario, carbonatos que parecen ser anteriores y son atravesados por vetas de carbonato-calcedonia de última formación. Estos últimos, imposible de separar de la matriz arcillosa en el cómputo puntual, han sido incluidos en los análisis modales en la parte correspondiente al material arcilloso intersticial.

Algún fragmento lítico muy carbonatado quizá proceda de rocas diabásicas, a juzgar por la disposición que adoptan las secciones tabulares de plagioclasa (textura ofítica) que son de mayor tamaño que los cristales

de feldespato de las rocas volcánicas. Ese mismo fragmento contiene cristalitos esqueléticos de ilmenita, accesorio muy frecuente en diabasas, y el resto está metasomatizado por carbonatos.

Los fragmentos lávicos muestran textura porfídica, con una matriz formada por una sustancia alterada de color pardo, que con nicoles cruzados no polariza o lo hace débilmente, seguramente un vidrio básico alterado o palagonita, donde son frecuentes amígdalas, que pueden llegar a ocupar más del 50 por 100 de la superficie del material lávico. Ninguno de los componentes de estas lavas existe como tal, es decir, se conserva transparente, exceptuando algunas secciones de espine-la parda, y por eso llegar al conocimiento de su primitiva composición resulta en extremo difícil.

La pasta de esas lavas tiene algunas veces textura microlítica, formada por bastoncillos feldespáticos en estado de dudosa conservación, y también existen algunos fenocristales del mismo mineral, a juzgar por la forma de las secciones y por el material residual que contienen, pero actualmente aparecen casi totalmente sustituidos por carbonatos o saussurita. Lo mismo cabe decir de los ferromagnesianos, entre los que hemos reconocido secciones de olivino y piroxeno completamente sustituidas por carbonatos. Es más intensa la carbonatación en las tobas y grauwackas que constituyen la unidad denominada piedra fraileasca que en las lavas de la misma edad que estudiaremos a continuación. En estas últimas el olivino ha pasado a serpentina y más frecuentemente a carbonatos, el piroxeno a hornblenda y generalmente a clorita y el feldespato a saussurita: como se ve, en estas lavas la carbonatación es selectiva y afecta fundamentalmente al olivino y a la matriz lávica. No obstante el metamorfismo sufrido y la soldadura

existente entre los fragmentos lávicos y el cemento arcilloso de estas tobas, se delimitan aquéllos con facilidad, porque son de tonalidad más oscura que la pasta arcillosa que los envuelve. Con frecuencia se reconocen secciones de cuarzo en los fragmentos lávicos; cuarzo sedimentario ajeno al material lávico, pero depositado con aquél en el proceso sedimentario contemporáneo al de la erupción volcánica.

Son tobas o grauwackas líticas y la superficie ocupada por los fragmentos pétreos es superior a la de los cristales minerales aislados; existen pseudomorfosis en olivino y piroxeno o granos opacos de magnetita e ilmenita, minerales componentes de estos fragmentos lávicos, incluidos en el cemento arcilloso de estas rocas híbridas. Han sido observadas «pressure shadows» de cuarzo fibroso en torno a granos opacos de magnetita. Parecen indicar, por su forma, una rotación y transporte tectónicos muy limitados (microfotografía 2).

Los fragmentos arcillosos incluidos en estas tobas no están laminados y las areniscas muestran un metamorfismo menos intenso que el de las cuarcitas silurianas; todo ello parece indicar que fueron incluidos en el estado de fangos arcillosos o arenas sueltas y, por tanto, que sedimentación y efusión lávica actuaron «pari pasu».

En rocas formadas esencialmente por material fragmentario volcánico, los fragmentos aparecen estirados y soldados unos con otros, y aunque el metamorfismo regional de la zona es muy débil, se observa formación de sericita a partir del cemento arcilloso de estas tobas, donde no se halla sustituido por carbonatos, que es lo más frecuente. Hiladas de una sustancia carbonosa o quizá grafitica limitan, en algunos casos, al material detrítico. No todo lo denominado roca frailesca en la

mina de Almadén es la grauwacka o toba volcánica que acabamos de describir. Con la frailesca propiamente dicha existen intercalaciones pizarreñas oscuras y puras lavas, donde no se reconoce la típica textura brechoide o piroclástica de la frailesca, sino una fina matriz con textura porfídica.

En la planta 2 hemos cogido muestras de tales lavas que tienen textura, composición mineral y han sufrido alteraciones idénticas a las de las lavas tomadas en itinerarios de superficie en los mismos niveles estratigráficos en que aparece la frailesca en Almadén. La que nos ocupa tiene textura microlítica, a veces casi dolerítica al aumentar el tamaño de las secciones del plagioclasa, que están entrecruzadas y formadas por cristales tabulares de un feldespató saussuritizado. (Un mineral laminar, probablemente una mica, que tiene extinción recta y colores de polarización amarillos o rojos de primer orden, debe ser el mineral esencial de la saussurita, lo mismo que hemos observado en las rocas lávicas tomadas en itinerarios de superficie.) Los ferromagnesianos metasomatizados por carbonatos y otros secundarios, son difíciles de identificar; no obstante, hemos reconocido pseudomorfosis en secciones de olivino. Numerosos cristales opacos de magnetita e ilmenita aparecen diseminados en la matriz.

Análisis modal, con contador de puntos, de tres muestras de roca frailesca de la mina de Almadén

38 A1 (2225 puntos) Planta 4.ª - Pozo San Teodoro Grauwacka tobácea		Mi 3 Planta 2 Toba Grauwacka	
Fragmentos lávicos.....	22,14 0/0	55,28 0/0	63,30 0/0
» de pizarra.....	0,90 »	5,80 »	
» de arenisca.....	14,38 »	2,22 »	
Cuarzo sedimentario.....	10,83 »	12,60 »	
Cuarzo filoniano.....	11,41 0/0	13,21 0/0	
Chert.....	0,58 »	0,01 »	
Feldespato.....	1,93 »	0,12 »	
Ferromagnesianos alterados	1,93 »	0,48 »	
Secciones alteradas (no iden- tificables).....	3,51 »	0,30 »	
Oxidos de hierro opacos...	0,22 »	0,24 »	
Turmalina.....	0,04 »	2,28 »	
Agregados de clorita.....	1,03 »	20,06 »	
Areas de carbonato.....	41,30 »		
Arcilla.....			

$$\frac{\text{feldespato}}{\text{fragmentos líticos}} = \frac{1,93}{37,42} = \frac{F}{R} < 1$$

$$\frac{\text{feldespato}}{\text{fragmentos líticos}} = \frac{0}{63,30} = \frac{F}{R} < 1$$

$$\frac{\text{cuarzo} + \text{chert}}{\text{feldes.} + \text{frag. lit.}} = \frac{11,41}{39,35}$$

$$\frac{\text{cuarzo} + \text{chert}}{\text{feldes.} + \text{frag. lit.}} = \frac{13,21}{63,30}$$

arcilla > cemento químico arcilla > cemento químico

20-A1
Las Cuevas
Toba volcánica basáltica

Fragmentos lávicos.....	78,32 0/0
» de pizarra.....	
» de arenisca.....	
Cuarzo sedimentario.....	
Cuarzo filoniano.....	
Chert.....	
Feldespato.....	
Ferromagnesianos alterados	
Secciones alteradas (no iden- tificables).....	

20-A1
Las Cuevas
Toba volcánica basáltica

Oxidos de hierros opacos...	
Turmalina.....	
Agregados de clorita.....	
Areas de carbonato.....	5,44 0/0
Arcilla.....	15,84 0/0

$$\frac{\text{feldespato}}{\text{frag. líticos}} = \frac{0}{78,32} = \frac{F}{R} < 1$$

$$\frac{\text{cuarzo} + \text{chert}}{\text{feld.} + \text{frag. líticos}} = \frac{0}{78,32 0/0}$$

arcilla > cemento químico

Son rocas clásticas que deben clasificarse de acuerdo a los valores de los parámetros que definen procedencia, madurez y fluidez del medio del que se separaron.

La relación $\frac{\text{feldespato}}{\text{fragmentos de roca}}$ tiene un valor muy reducido en las rocas analizadas (ver análisis modales), y ello es prueba de que apenas han contribuido en su formación materiales del estrato cristalino, mientras que, por el contrario, casi todo su contenido clástico procede de rocas suprayacentes, lávicas y metamórficas epizonales, fundamentalmente las primeras.

La relación $\frac{\text{cuarzo} + \text{chert}}{\text{feldespato} + \text{fragmentos de roca}}$ también tiene un valor muy bajo en las rocas analizadas, debido a la elevada proporción de material clástico inestable que contienen (fragmentos de roca principalmente) y escasa selección de los componentes detríticos. Por la misma causa, tampoco se observa una uniformidad en el tamaño del material clástico, ni en su grado de abrasión, siendo frecuente que muestren contornos angulo-

sos que quizá influyeran en la denominación de brecha, que es como desde antiguo se ha clasificado a la roca frailesca de Almadén.

La elevada proporción de arcilla intersticial prueba que los componentes clásticos debieron separarse de un medio fluido de elevada densidad en un tiempo relativamente corto que impidió efectuar su mejor selección. Otras rocas apenas sí tienen arcilla intersticial, que ha debido ser sustituida por un carbonato impuro, cargado de diminutas inclusiones arcillosas, que también metasomatiza a los fragmentos detríticos.

De acuerdo al diagrama adjunto (Sedimentary Rocks-F. J. Pettijohn), que establece distintos grupos de rocas clásticas según los valores de las relaciones mencionadas (ver análisis modales efectuados), las rocas estudiadas pertenecen al grupo de las grauwackas líticas y tobas.

Índice de viscosidad del fluido

		Fluidos concentrados arcilla > cemento químico		Fluidos diluidos cemento químico > arcilla				
Procedencia	F > R	1 grauwacka fedespática.	3 Arkosa.	5 arenisca fedespática.	7 Ortocuarcita			
	R > F	2 grauwacka lítica, tobas.	4 Subgrauwacka.	6 Protocuarcita.				
		<i>Índice de selección</i>						
		% cuarzo						
		< 75 %		75 - 95 %		> 95 %		

Ya que son rocas híbridas, pues contienen fragmentos volcánicos y no volcánicos, deben denominarse grauwackas tobáceas las rocas con más del 50 por 100 de

material sedimentario, y tobas areniscas o tobas grauwackas las rocas con más del 50 por 100 de material volcánico. La denominación de tobas volcánicas debe reservarse para las rocas constituidas principalmente por fragmentos de rocas volcánicas. En los análisis modales que acompañamos, indicamos la clasificación de las rocas medidas.

La clasificación de toba basáltica en vez de toba volcánica es más precisa, teniendo en cuenta que el material volcánico que forma estas tobas es de naturaleza basáltica. No nos parece correcta la denominación de toba diabásica con que Calderón definió a estas rocas, pues son muy raros los fragmentos de diabasas en el material clástico de estas lavas, suponiendo que sean tales diabasas que indudablemente existen en el Siluriano de la región, y no sean lavas que han adquirido esa textura ofítica en lugares en que, como el centro de una colada, el enfriamiento es más lento que en las zonas marginales.

Ya hemos dicho que con la frailesca alternan en la mina de Almadén niveles de fangos arcillosos, convertidos en pizarras por el débil metamorfismo regional que han sufrido (facies de los esquistos verdes o «green schists facies»), y lavas basálticas de los mismos caracteres que los de lavas situadas en la misma posición estratigráfica en otros lugares de la comarca (Valdeazogues, Almadenejos, Chillón, etc.).

OTRAS ROCAS VOLCÁNICAS DEL MISMO NIVEL ESTRATIGRÁFICO QUE EL DE LA PIEDRA FRAILESCA

En la carretera a Almadenejos, antes de llegar al puente sobre el río Valdeazogues (24-T), se cortan rocas lávicas. A la derecha de la carretera, donde esta úl-

tima es cruzada por el arroyo del Avilero, existe una cantera en tales lavas.

Son rocas oscuras, de carácter básico, de fractura concoidea. No tienen estructura brechoide ni aparecen estratificadas.

El estado de alteración en que se encuentran dificulta su estudio microscópico. Están formadas por material exclusivamente magmático y tienen textura porfídica, destacando numerosas secciones de componentes ferromagnesianos alterados en una matriz generalmente sustituida por carbonatos, donde aparecen diseminados numerosos cristallitos opacos de magnetita. El apatito es mineral accesorio y generalmente se conserva transparente. Tres distintas clases de fenocristales hemos reconocido. Son muy frecuentes las pseudomorfosis de una serpetina incolora o ligeramente verdosa, que polariza muy débilmente, en algunas ocasiones es virtualmente isotropa, y de carbonatos en olivino idiomorfo, de crucero imperfecto. Son las secciones de mayores dimensiones. Pseudomorfosis de una hornblenda parda muy descolorida y alterada, que tiene pleocroísmo en tonos de color pardo, y de clorita en piroxeno idiomorfo, totalmente desaparecido. Es frecuente la coexistencia de hornblenda y clorita en una misma sección, y este último mineral muestra los tonos de polarización azul lavándula propios de la pennina. Algunas de las pseudomorfosis mencionadas presentan los contornos octogonales de las secciones basales del piroxeno, que al pasar a clorita ha liberado parte del OFe en forma de diminutos cristallitos opacos de óxidos de hierro, diseminados en la clorita. También hemos observado pseudomorfosis de un mineral laminar incoloro que polariza débilmente, tiene alargamiento positivo y extinción rec-

ta en secciones de plagioclasa. Es el mineral principal originado en la saussuritización del plagioclasa.

Secciones de una biotita, al parecer muy ferrifera, que muestra un pleocroísmo de pardo claro a pardo y pardo rojizo, se conservan transparentes. Es, sin duda alguna, mineral deutérico, que frecuentemente aparece asociado y forma una corona en torno a las secciones opacas de óxidos de hierro y de anfíbol secundario de piroxeno. En ciertas partes de la lámina delgada se observa cómo grandes placas de albita transparente deutérica y no maclada sustituyen a la matriz de estas lavas. Las secciones de ferromagnesianos alterados aparecen incluidas en tales placas en las zonas donde el metasomatismo ha tenido lugar. La albita está ligeramente sustituida por carbonato filoniano que la cruza y la sustituye a lo largo de sus planos de crucero.

Una acción filoniana hidrotermal se halla representada por cuarzo α y calcita, que están asociados en los rellenos de las fracturas de estas lavas. Este carbonato filoniano parece de formación posterior que el que ha efectuado el metasomatismo de matriz y fenocristales.

Tránsitos de la textura porfídica de las lavas a la ofítica, propia de doleritas, existen en una misma lámina delgada. Por eso, no debemos atribuir a solidificación en diferentes niveles la presencia de una u otra textura, y parece lógico suponer que las muestras tomadas en la parte central de una colada puedan tener textura ofítica y las marginales porfídica.

Menos metasomatizada por carbonatos se encuentra la matriz de las lavas que, próximas a esta última cantera, se cortan en el camino al puente sobre el río Valdeazogues, situado en la carretera a Puertollano (23-T).

Tienen textura porfídica con pasta microítica pilotáxica, formada por bastoncillos de feldespato y grani-

llos de magnetita, y tienen la particularidad de que los primitivos ferromagnesianos aparecen sustituidos por cuarzo α que forma bellas pseudomorfosis en secciones de aquellos componentes. Apenas si existe serpentina pseudomórfica de olivino, sustituida por cuarzo α , que es posterior al silicato magnésico.

Como en el último caso, el cuarzo α va asociado a carbonatos en vetillas que constituyen la vía de entrada de esta acción metasomática de naturaleza hidrotermal: el cuarzo α parece anterior a los carbonatos, ya que ocupa las zonas marginales de los rellenos. El carbonato no sustituye en este caso a los fenocristales ni a la pasta de esta lava.

En la misma carretera, unos 300 metros después de pasar el desvío a la estación de Almadenejos (27-T), se cortan en una pequeña trinchera lavas análogas, situadas en niveles stratigráficos silurianos superiores a los de la cuarcita del criadero que en las proximidades se halla metalizada, pues a la derecha de la carretera existe la mina cinabrería de la Concepción.

Son rocas básicas, de disyunción en bolas, que adquieren al meteorizarse tonos pardos o rojo pardos. Al microscopio se observa el tránsito de la textura ofítica, propia de diabasas o doleritas de diques o «sills», a la porfídica de las lavas de esta región, en muestras tomadas a distancia de pocos metros (a uno y otro lado de la carretera).

Están muy alteradas, como las últimas estudiadas, y tienen textura porfídica con pasta microlítica, formada por bastoncillos feldespáticos sustituidos por una sustancia de grano finísimo, difícil de identificar, que podemos referir como saussurita, cristalitas opacos y numerosas amígdalas rellenas por calcedonia esferulítica y carbonato. Las amígdalas son generalmente de forma

irregular. La pasta está casi completamente sustituida por carbonatos, pero existen áreas residuales de color pardo que deben representar la alteración de un primitivo vidrio (palagonita). Diseminadas en esta pasta aparecen algunas secciones de una espinela parda isótropa de las mismas características a la contenida en algunos fragmentos lávicos de la fraileasca de la mina de Almadén, un argumento en favor de la naturaleza contemporánea de esas lavas, ya que la espinela no es mineral muy frecuente en rocas volcánicas.

Se reconocen numerosos fenocristales de serpentina y sobre todo carbonato y calcedonia pseudomórficos de un olivino totalmente desaparecido y son más dudosas las pseudomorfosis en primitivas secciones de piroxeno. El plagioclasa es esencialmente microlítico.

Una acción metasomática hidrotermal es efectuada por carbonato y calcedonia, que parecen simultáneos y posteriores a serpentina. Las fracturas que atraviesan estas lavas representan la vía de entrada de esta acción metasomática.

Las rocas diabásicas muestran la clásica textura ofítica de las doleritas y diabasas, con plagioclasa idiomorfo y ferromagnésico intersticial. No existe plagioclasa residual, pues sus secciones aparecen totalmente saussuritizadas y los espacios intersticiales están ocupados por una clorita verdosa, de pleocroísmo apenas perceptible y débil polarización en agregado, con tonos azulados o grises, probablemente secundaria de un primitivo piroxeno completamente desaparecido. Las pseudomorfosis en piroxeno son a veces automórficas, pero no hemos reconocido secciones basales octogonales. Hay numerosas secciones de una ilmenita parcialmente leucoxenizada y prismas y secciones basales de un apatito que se conserva transparente.

Ha existido una alteración deutérica, producida por la acción de residuos postmagnéticos, que ha originado placas micropegmatíticas de la asociación cuarzo-albita y secciones aisladas de albita. Este feldespato, que aparece frecuentemente maclado en dos direcciones subnormales y tiene en las placas orientación óptica uniforme en el interior de las secciones de cuarzo, es secundario y mucho más ácido que el plagioclasa primario completamente desaparecido.

Una alteración metasomática hidrotermal es efectuada por carbonatos que son posteriores y sustituyen parcialmente a la albita deutérica que, no obstante, se conserva transparente.

En el mismo nivel estratigráfico de la roca frailesca en Almadén, se cortan rocas eruptivas en las proximidades de la carretera de Chillón a la estación de este mismo pueblo. El arroyo de la Villa discurre paralelo a la carretera, al sur de este pueblo, y siguiéndole se cortan yendo hacia el Sur, a partir de la cuarcita base del Devónico y hasta el puente por el que cruza la carretera el expresado arroyo, unos 15 m. de un conglomerado que contiene cantos rodados de arenisca y pizarra y unos 60 m. de pizarras grises oscuras. Nada más pasar el puente, en un camino que sale de la carretera con dirección Noroeste, se cortan pizarras al principio, y al llegar a su primera curva existen intercalaciones de pizarras y rocas eruptivas. Estas últimas tienen textura ofítica, con un plagioclasa primario tabular saussuritizado y una clorita verdosa intersticial, probablemente un piroxeno alterado, por principales componentes. También hemos reconocido áreas de antigorita, seguramente secundaria de olivino, y secciones de ilmenita leucoxenizada.

Como todas las rocas eruptivas estudiadas, se hallan muy alteradas. Los primeros cambios sufridos fueron la

serpentinización y cloritización de los ferromagnesianos y saussuritización del primitivo feldespato, cambios que podemos atribuir a acciones deutéricas postmagnéticas. Ulterior ha sido la formación de una alb. ta transparente, generalmente no maclada, que en esta muestra suele formar agregados granoblásticos de tamaño reducido. Efectúa una sustitución irregular, no selectiva, de los componentes alterados de la primitiva roca lávica y suele ir asociada a cuarzo α que debe ser, en cierto modo, mineral simultáneo; en las placas micropegmatíticas albita-cuarzo de otras rocas, ambos minerales parecen de la misma antigüedad, y en otras ocasiones las secciones de albita son atravesadas por vetillas de cuarzo.

Cuarzo α y carbonatos son minerales filonianos y los últimos formados. Los carbonatos son incluso posteriores al cuarzo y en los rellenos en que coexisten ambos minerales, el cuarzo ocupa posiciones marginales y el carbonato centrales. Estos últimos minerales sustituyen a la albita del último período y son minerales hidrotermales.

Muy cerca del pueblo de Almadenejos, en el cruce de las carreteras a Puertollano y Saceruela, existen tobas volcánicas en las trincheras de la carretera (28-T). Corresponden al mismo nivel de las lavas estudiadas y todas se hallan en niveles estratigráficos del Siluriano superior, comprendidas entre la cuarcita impregnada y sustituida por la metalización cinabrifera y la cuarcita base del Devónico.

Son rocas de composición basáltica que primitivamente contenían olivino, piroxeno y plagioclasa, los tres componentes esenciales de los basaltos olivínicos no saturados. A pesar del avanzado estado de alteración en que se hallan, parecen ser rocas de primitivo quimismo calcoalcalino. Algunas tienen pasta hialopilitica y los bastoncillos de plagioclasa están diseminados en un vidrio par-

do alterado y otras pasta pilotáxica holocristalina, ya de carácter primario o secundario, procedente de la desvitrificación de un vidrio primitivo. Como en la superficie de una lámina delgada se observan, a veces, todos los tránsitos posibles a la textura ofítica de doleritas, pensamos que algunos niveles de esas coladas, especialmente los que han sufrido una consolidación más lenta, puedan presentar esa textura, que no debemos considerar exclusiva de menores intrusiones, sin pretender con ello excluir la indudable existencia de sills diabásicos del mismo quimismo y edad que estas lavas. No son, sin embargo, filonianas las rocas con textura ofítica tomadas en la carretera de Almadenejos, unos 300 m. después del desvío a la estación (27-T), en una pequeña trinchera de la carretera.

Quizá el magma primitivo contuviese el H_2O necesario para producir la autohidratación que ha conducido a la formación de serpentina, clorita y saussurita o quizá el agua del mar, por difusión en la lava, haya prestado una valiosa cooperación.

Estas alteraciones deutéricas e hidrotermales son intensas en todas estas lavas. Son cambios correspondientes al primero de los periodos citados, la serpentización del olivino, cloritización del piroxeno, saussuritización del plagioclasa, formación de láminas de biotita ferrífera, indudablemente originada a expensas de primitivos ferromagnesianos, de placas micropegmatíticas de albita-cuarzo y de secciones de albita.

Al segundo período corresponden la carbonatación de ferromagnesianos, pasta y albita deutérica, metasomatismo de las secciones olivínicas serpentizadas por cuarzo α y relleno de vesículas por calcedonia y carbonatos. El metasomatismo deutérico es anterior al hidrotermal y

en este último el cuarzo α parece anterior a calcedonia y carbonatos, probablemente simultáneos.

La presencia de diabasas albiticas entre las rocas estudiadas, donde la albita transparente es claramente secundaria y posterior al plagioclasa primitivo totalmente saussuritizado, relaciona estas lavas con rocas básicas de naturaleza espilitica. Todos los cambios observados en estas rocas son frecuentes en las espilitas, pero debemos añadir que existen toda clase de tránsitos entre basaltos y espilitas. Tienen la textura amigdaloides de muchas espilitas y carecen de la estructura almohadillada (pillow lavas), característica pero no exclusiva, de rocas de esta composición.

No se han observado marcadas diferencias de composición mineral ni de quimismo en las muestras estudiadas, que tienen una composición media coincidente con la de basaltos olivínicos y picritas, y esto nos hace suponer que en este caso particular no haya existido una diferenciación gravitativa observada en otras formaciones geosinclinales.

Es indudable la naturaleza submarina de estas lavas y tobas, producto de una actividad magmática temprana en los primeros periodos del desarrollo geosinclinal herciniano, intercaladas con sedimentos marinos, grauwackas (la fraileasca de Almadén), pizarras con graptolites (los niveles pizarreños situados entre la cuarcita del criadero y la fraileasca en Valdeazogues) y areniscas. Las mismas alteraciones sufridas (serpentización, cloritización, saussuritización, carbonatación) dicen mucho en favor del origen submarino de estas lavas; especialmente el CO_2 expelido por las lavas, forma con el agua del mar disoluciones hidrotermales activas que permanecen por largo tiempo en contacto con la lava y determinan su carbonatación e hidratación.

Plagioclasa deutérico:

Las direcciones cristalográficas, planos (010) de separación de maclas o (001) de crucero, de cuatro secciones de plagioclasa deutérico medidas, lámina delgada 26-Al de la diabasa de la estación 27-T, 33-Al de la roca fraileasca de la planta cuarta de la mina de Almadén, y dos

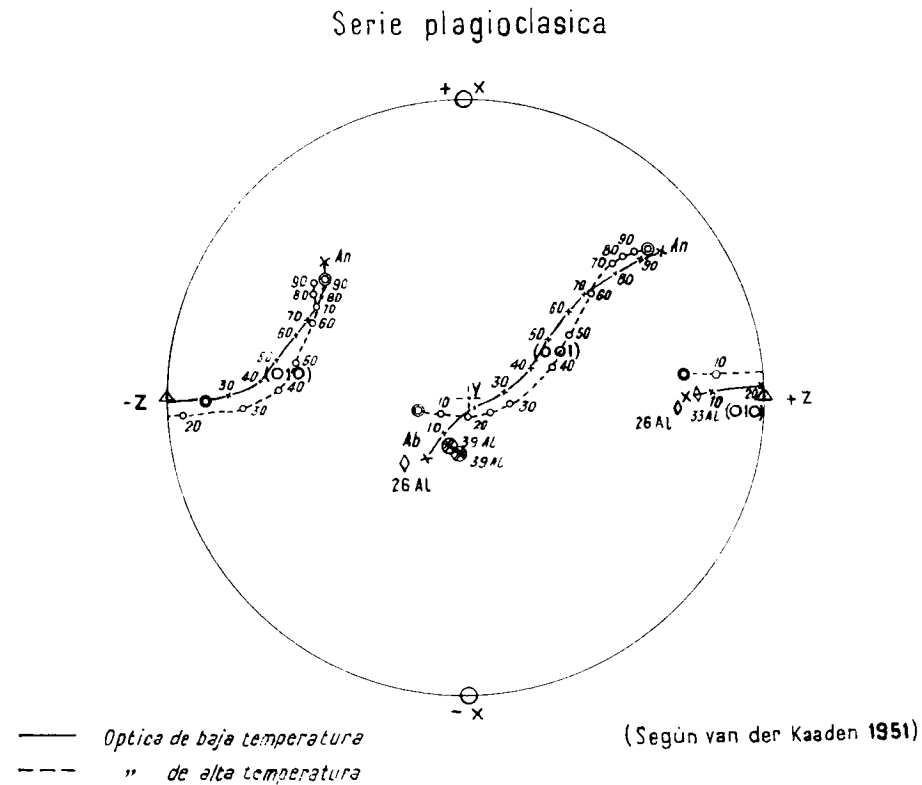


FIG. 2

39-Al del basalto de la estación 24-T, se proyectan próximas a sus curvas respectivas, correspondientes a plagioclasas con óptica de baja temperatura (Van der Kaaden, 1951) en contenidos de anortita inferiores a 10 por 100 (albita) (fig. 2).

El ángulo axial obtenido por mediciones directas fluctúa de $2V_x = 86^\circ$ a $2V_x = 90^\circ$, y existe una ligera discrepancia entre los contenidos de anortita obtenidos en los feldespatos medidos (< 10 por 100 An) y los correspondientes a estos ángulos axiales en la curva $2V_x$ para feldespatos con óptica de baja temperatura (16 por 100 a 20 por 100 An; fig. 3).

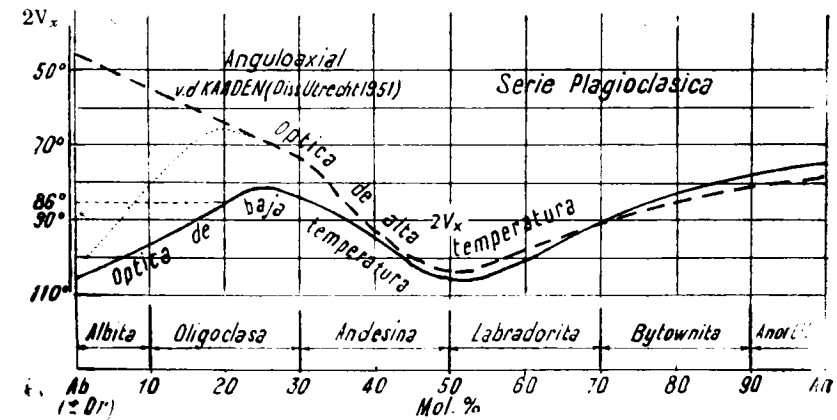


Fig. 3.

Dos secciones de plagioclasa de las láminas delgadas 33-Al (fraileasca de la misma de Almadén) y 24-Al (lavas de Almadenejos) tiene birrefringencias $n_\gamma - n_x = 0,00929$ y $n_\gamma - n_x = 0,0096$, correspondientes a plagioclasas con menos del 10 por 100 Anortita y, por tanto, de acuerdo con los valores obtenidos en las curvas de Van der Kaaden. La birrefringencia ha sido determinada con compensador de Berek, según el método de Emmons.

Piroxeno:

Una de las lavas estudiadas (Cerro de los Santos) contiene algunos fenocristales de un piroxeno residual.

Las secciones son columnares y además del crucero

(110) de los piroxenos tienen una buena separación o cruce imperfecto según (001), normal a la longitud de los cristales. El plano de ejes ópticos (010) es paralelo a la mayor dimensión de las secciones y los ángulos axiales medidos varían de $2V_z = 43^\circ 30'$ a $2V_z = 46^\circ 30'$. Existe un maclado polisintético según (100); el polo del plano de separación de las maclas dista de Z y X, en el plano de los ejes ópticos, ángulos de 41° y 49° respectivamente.

Pertenece a la serie augítica (Tröger, *Optische Bestimmung...*).

Anfibol:

Casi siempre asociado a secciones de piroxeno (son muy escasos los cristales individuales de anfíbol), asociación que representa el paso o tránsito entre dos términos consecutivos de la serie discontinua de Bowen. Es columnar, tiene pleocroísmo de X = pardo claro a Y = pardo y Z = pardo oscuro o pardo rojizo, con $X < Y < Z$ y ángulo de extinción en el clinopinacoide de $Z \wedge c = + 24^\circ$; tiene alargamiento positivo y el ángulo axial medido varía de $2V_x = 71^\circ$ a $2V_x = 72^\circ 30'$.

Pertenece a la serie hornbléndica (ver el mismo autor).

Biotita:

Es pseudoniáxica negativa y un término ferrífero, a juzgar por su pleocroísmo que varía de X = incoloro a Y = Z = pardo rojizo.

CONCLUSIONES

Es indudable que los fragmentos lávicos de la fraileasca han sido originados por el mismo proceso eruptivo que ha formado las coladas y tobas submarinas del Silúrico superior de la comarca. La correspondencia textural y mineralógica es indudable, pues texturas porfídicas con matriz alterada, probablemente vítrea, microlítica, formada por cristalitos tabulares de un plagioclasa saussuritizado, ofítica y amigdaloides se observan en unos y otras y en composición mineralógica ambos son basaltos olivínicos y contienen fenocristales de olivino, augita y plagioclasa o, mejor actualmente, pseudomorfosis en esos minerales y cristalitos opacos de magnetita e ilmenita. Un accesorio no muy frecuente en lavas de composición básica, la espinela parda, ha sido reconocido en fragmentos lávicos de la fraileasca de la mina de Almadén y en rocas de los afloramientos próximos al kilómetro 5 de la carretera a Puertollano.

Podemos, por tanto, decir que en el Siluriano superior de Almadén, los niveles estratigráficos situados entre la cuarcita del criadero y la cuarcita base del Devónico, están principalmente ocupados por rocas volcánicas: lavas (basaltos olivínicos alterados), tobas basálticas y sedimentos tobáceos (grauwackas) de un espesor de varios centenares de metros y formados en el Siluriano superior con posterioridad a un nivel de pizarras graptolíticas, inmediatamente superior a la cuarcita del criadero y con anterioridad a la sedimentación de los niveles silíceos de la cuarcita base del Devónico. Se pasa imperceptiblemente de unos a otros, como se observa en la mina de Almadén, donde hay puras lavas interstratifi-

cadras con tobas o grauwaekas, o en el camino donde se halla la estación (47-T) de nuestros itinerarios de superficie, donde por debajo de los niveles silíceos del Devónico existen puras lavas basálticas que pasan a la típica fraileasca o toba basáltica en niveles inferiores y en el cruce de las carreteras a Puertollano y Saceruela, cerca del pueblo de Almadenejos, también existen intercalaciones de tobas y lavas basálticas.

Estas rocas volcánicas se hallan intercaladas con sedimentos, generalmente fangos arcillosos transformados en pizarras por el débil metamorfismo regional sufrido, y la cuarcita del criadero suele estar separada por unos 50 ó 60 m. de pizarras oscuras con graptolites del material lávico, camino a Chillón, donde se encuentra 47-T y mina de Valdeazogues, y también la cuarcita de la base del Devónico suele hallarse separada por pizarras oscuras de las emisiones lávicas, como se observa en la carretera de Chillón a la estación, al Sur de este pueblo, y en 47-T, aunque aquí las pizarras de niveles inferiores a la base del Devoniano son menos potentes. Las mismas lavas y tobas presentan intercalaciones pizarreñas de puros sedimentos arcillosos (labores subterráneas de la mina de Almadén), que prueban que las lavas irrumpieron en un medio de sedimentación activa, un fondo geosinclinal.

El carácter anguloso de los fragmentos y el predominio de material volcánico de las rocas piroclásticas, prueba que estas han debido formarse muy próximas a la fuente eruptiva, con un mínimo transporte. Quizá los lugares donde existe un mayor espesor de material piroclástico puedan representar la posición de los primitivos cráteres o fisuras submarinas. (Valdeazogues, Almadén, etc.).

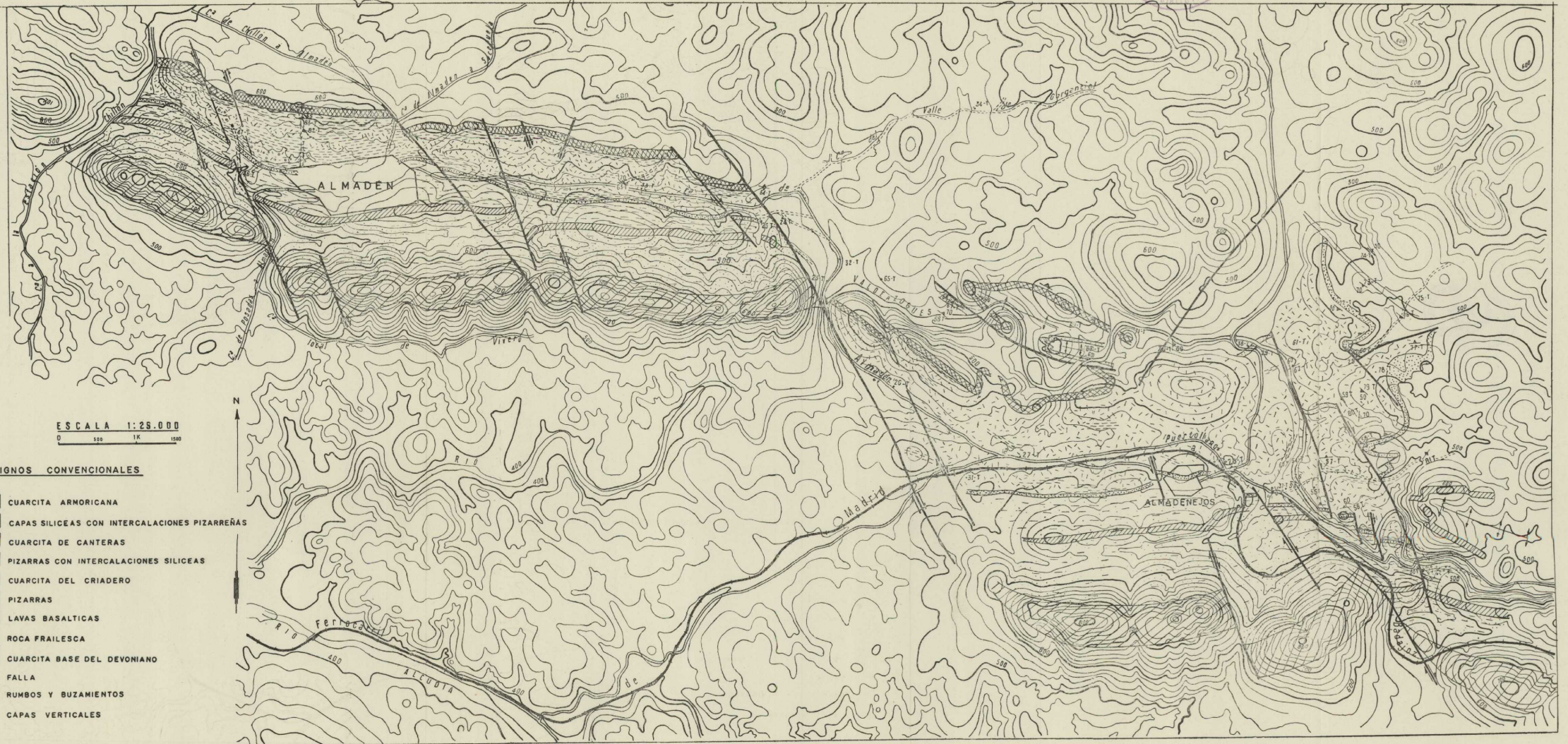
La naturaleza porosa de lavas y tobas ha facilitado su alteración, y la serie de transformaciones metasomáticas

que han sufrido y hemos enumerado. La carbonatación ha sido especialmente intensa en tobas y sedimentos tobáceos.

Podría suponerse, ya que las minas de cinabrio se encuentran generalmente en lugares en que existen mayores espesores de rocas tobáceas, Almadén, Valdeazogues y Las Cuevas, que pudiera existir una relación genética, ya que también la existe espacial, entre metalización cinabrifera y tobas. Negamos tal relación, ya que para nosotros la metalización cinabrifera ha sido muy posterior a la formación de esas tobas, pero si creemos que esas tobas hayan podido ejercer una acción pasiva, ya que siendo permeables, porosas (texturas amigdaloides de lavas y fragmentos lávicos) y de poca resistencia mecánica (la falla más importante de la mina de Almadén separa un horizonte de roca fraileasca de otro pizarreño (ver figura 1), han podido constituir por sí o por medio de las fallas y zonas de corrimiento que las cruzan, las vías de entrada de la metalización de mercurio.













Con todo lo dicho creemos poder justificar la clasificación de toba basáltica o grauwaeka tobácea con que hemos denominado a la roca fraileasca de Almadén, mucho más afín a la que le dió Calderón en 1883, que la denominó toba diabásica, que a la errónea de Van der Veen en 1924.

Es seguro que Van der Veen, cuya autoridad y competencia están por encima de toda ponderación, estudió muy ligeramente las formaciones pétreas de la comarca de Almadén, ya que de otra forma no habría incurrido en la errónea clasificación de la roca fraileasca que se ha transmitido hasta nuestros días.



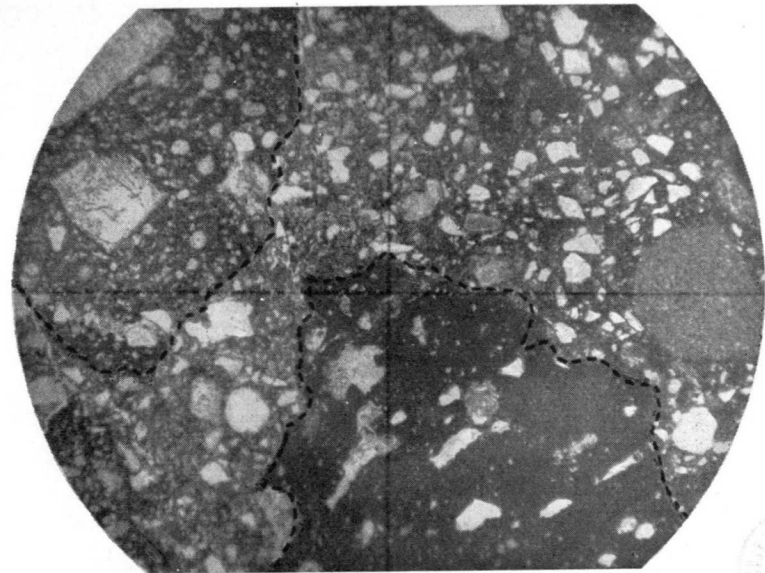
ESCALA 1:25.000
0 500 1K 1500

SIGNOS CONVENCIONALES

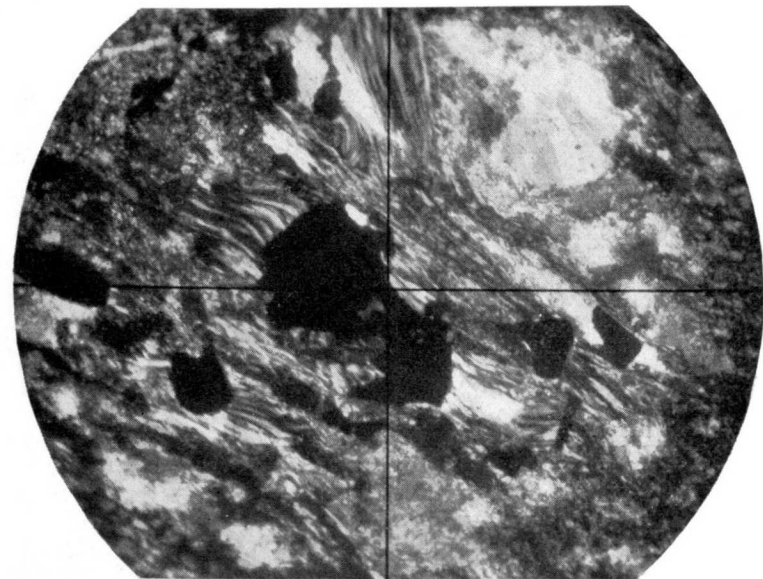
-  CUARCITA ARMORICANA
-  CAPAS SILÍCEAS CON INTERCALACIONES PIZARRÉÑAS
-  CUARCITA DE CANTERAS
-  PIZARRAS CON INTERCALACIONES SILÍCEAS
-  CUARCITA DEL CRIADERO
-  PIZARRAS
-  LAVAS BASÁLTICAS
-  ROCA FRAILESCA
-  CUARCITA BASE DEL DEVONIANO
-  FALLA
-  RUMBOS Y BUZAMIENTOS
-  CAPAS VERTICALES

BIBLIOGRAFÍA

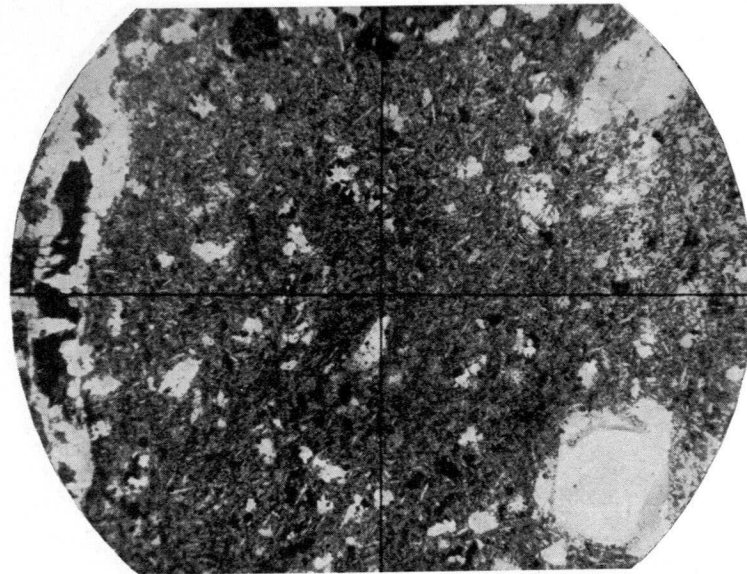
- ALMELA, A.: *Esquema geológico de la zona de Almadén (Ciudad Real)*. «Bol. Inst. Geol. Min. de España», t. LXX. Madrid, 1959.
- CALDERÓN Y ARANA, SALVADOR: *Rocas eruptivas de Almadén*.
- EMMONS, R. C.: *The Universal State (with five axes of rotation)*. «Geol. Soc. Am.», Memoir 8, 1949.
- MORHOUSE, W. W.: *The Study of rocks in thin Section*. «Harper brothers New York», 1959.
- PATTON, HORACE B.: *Occurrence of flow breccias in Colorado*. «Bull. Geol. Soc. Am.», 1915.
- PETTIJOH, F. J.: *Sedimentary rocks*. «Harper and brothers New York».
- RITTMANN, A.: *Geosynclinal volcanism, ophiolites and Barramiya rocks*. «The Egypt Jour. Geol.», vol. II, núm. 1, 1958.
- TROGER, W. E.: *Optische bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. Stuttgart, 1956. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- TURNER and VERHOOGEN: *Igneous and metamorphic Petrology*. McGraw Hill, 1951.
- VAN DER VEEN, R. W.: *The Almaden Mercury Ores and their connection with Igneous rocks*.



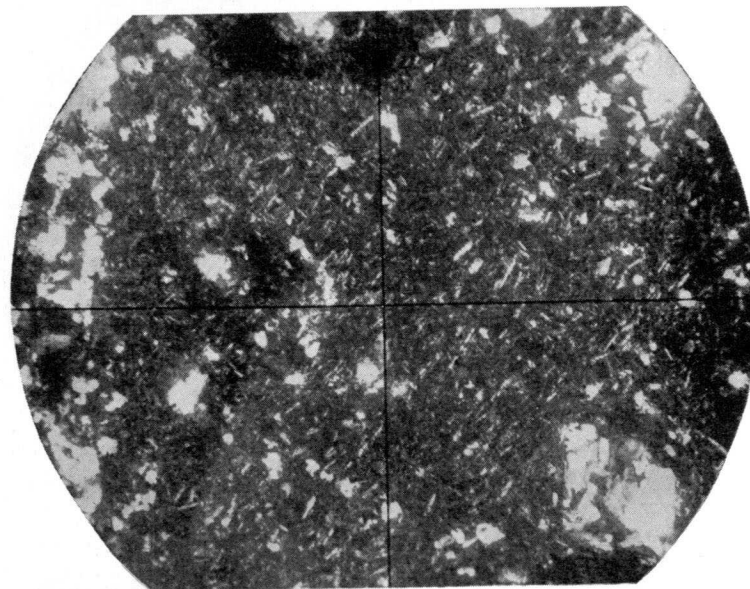
Microfot. 1.—Dos fragmentos lávicos incluidos en una muestra de roca frailesca de la planta 2.^a de la mina de Almadén. El superior tiene textura porfídica y pasta amigdalóide y el inferior la misma textura con pasta vítrea; en el superior se observa un fenocristal automórfico de un ferromagnésiano cloritizado. Numerosas secciones de cuarzo detritico anguloso y matriz arcillosa intersticial.— $\times 30$.



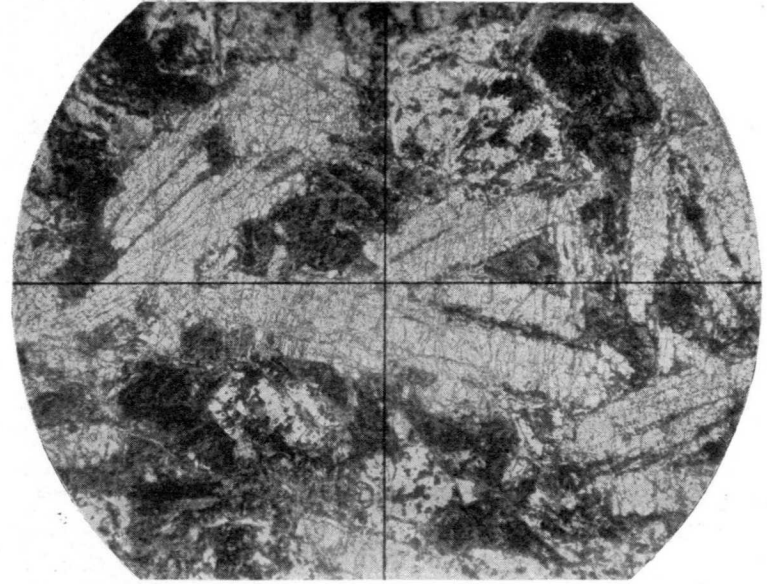
Microfot. 2.—«Pressure shadows» de cuarzo en contacto con secciones opacas de óxidos de hierro. Frailesca de la planta 4.^a de la mina de Almadén.— $\times 30$.



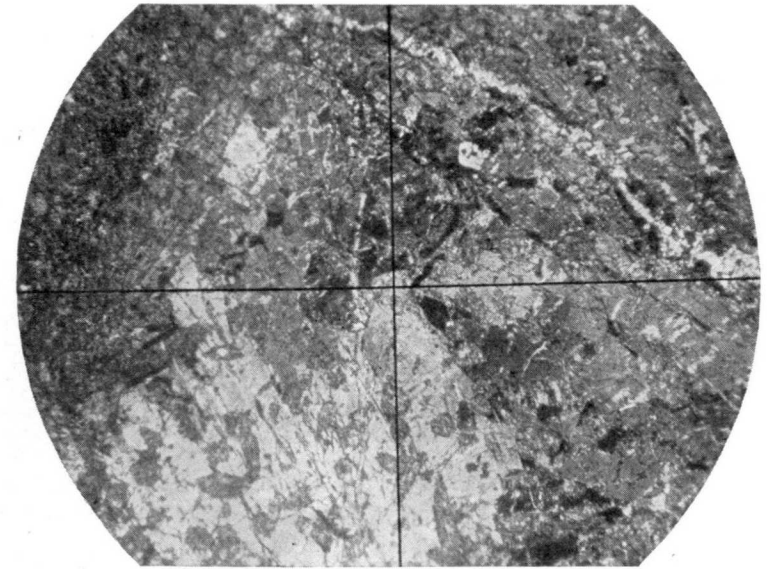
Microfot. 3. Cuarzo pseudomórfico de olivino (fenocristales de la derecha) en una lava basáltica de pasta microlítica feldespática. Vetillas de cuarzo-carbonato (izquierda); el cuarzo es marginal y el carbonato ocupa el centro del relleno. Lava de la estación 24-T.— $\times 30$.



Microfot. 4.— La misma, con nicoles cruzados.



Microfot. 5.—Textura diabásica en una roca lávica de las proximidades de la estación de Almadenejos. Plagioclasa saussuritizado, clorita intersticial y algunas barras de ilmenita leucogenizada.
Estación 27-T.— $\times 30$.



Microfot. 6.—Placas de albita deutérica con inclusiones residuales de la matriz lávica basáltica a la que ha sustituido. Lava de la estación 24-T.— $\times 30$.



Foto 1.—La cuarcita de canteras, desde la carretera a Córdoba.

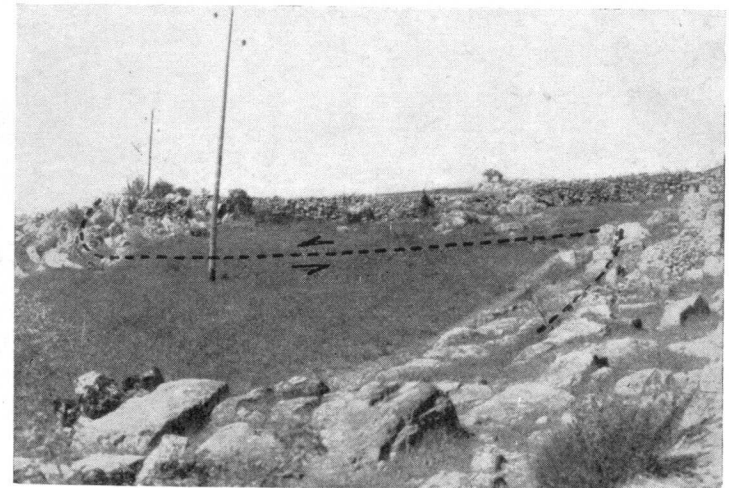


Foto 2.—La cuarcita del criadero, interrumpida y desplazada por una pequeña falla al Oeste de Almadén.

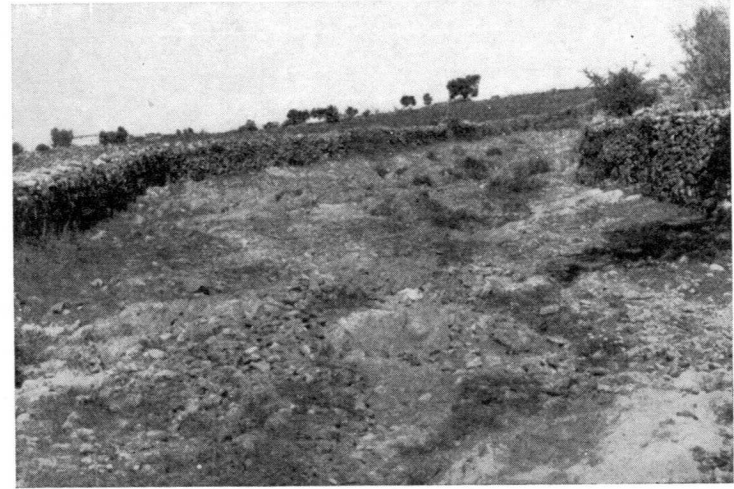


Foto 3.—Afloramientos de roca frailesca en uno de los caminos de Almadén a Chillón, al Oeste de la mina.

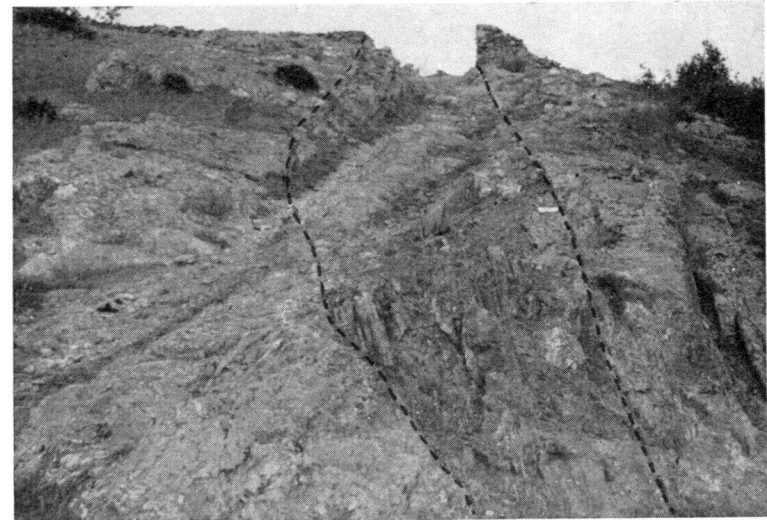


Foto 4.—Pizarras (centro) interestratificadas con lavas basálticas del Siluriano superior. Camino que parte del kilómetro 3 de la carretera de Almadén a Puertollano; foto tomada junto a la carretera.





Foto 5.—Meteorización esferoidal de las lavas basálticas. Foto tomada en el mismo camino, antes de llegar al Devónico.

VICENTE SOS BAYNAT

SOBRE NUEVAS LOCALIDADES DE MATA- LANITA EN EXTREMADURA

R E S U M E N

En 1952, don Antonio Baselga Recarte propuso el nombre de *matalanita* para una nueva especie petrográfica volcánica que, en parte, había pasado desapercibida. Discutida en 1953 por don Luis G. García Figuerola, que la calificó de no volcánica, este mismo año, el primer autor, en otro artículo daba noticia de un nuevo hallazgo de dicha roca, insistía en sus apreciaciones iniciales e invitaba a los investigadores a que se preocuparan por la aportación de nuevos datos.

Respondiendo a esta invitación, en nuestro trabajo de ahora se hace una reseña de Matalanitas de nueve procedencias diferentes, todas de Extremadura; se describen las características de todas ellas, en particular las referentes a sus condiciones de rocas eruptivas; y se hace mención especial de las recogidas en la Dehesa-Cortijo Morales. Se termina el trabajo con unas someras consideraciones respecto a sus posibles relaciones tectónicas del Silúrico y emisión reciente, indicando su posición general en la directriz islas Co'umbretes, Confrontes, Campos de Calatrava, Algarbe (Portugal).

S U M M A R Y

Matalanite is a name coined and suggested by A. Baselga, in 1952, for a new and specimen of volcanic rock that was nearly, but not quite unrecorded. L. G. García Figuerola (1953) discussed the properties and qualities of the above rock, and classed it as *non-volcanic*.

A. Baselga, in a second paper (1953) reported a new specimen of the aforesaid rock and insisted on his view. He expressed his concern with the matter and invited workers in the Field to search for fresh facts from which it could be formed a fixed opinion.

The author of the present paper reports on a substantial set of Matalanite specimens from nine different places, all of them in Extremadura (Spain). The petrographic traits of every specimen are described. Direct

reference is made to the ones gathered and studied «in situ» by the author, at *Dehesa-Cortijo Morales*. The paper rounds off with some short general considerations on Paleozoical geotectonics, on the late occurrence of the building discharges, and, on their location clearly set on the volcanic directrix: *Columbreces-Cofrentes-Campos de Calatrava-Algarve* (Portugal).

INDICACIÓN PRELIMINAR

En una nota publicada por D. Antonio Baselga Recarte en 1952 (2), establecía una nueva especie volcánica, la roca que denominaba *Matalanita* encontrada por dicho autor en Villanueva del Fresno, Badajoz, donde además del estudio completo de la roca, hacía alusión a otras localidades donde habían sido halladas, por otros autores, muestras muy semejantes.

En 1953, en la misma revista, don Luis G. García de Figuerola (3) publicó un concienzudo estudio petrográfico de un ejemplar que podía referirse a las matalanitas, encontrado en Valverde del Fresno, Cáceres, donde llegaba a la conclusión de que la *escoria* tratada por él del Lagar de López (de dicho término municipal), no podía considerarse como originada por erupción.

Poco después, el señor Baselga, insistió sobre el hallazgo de un nuevo yacimiento de matalanita (4), encontrado a orillas del río Godalid, Villanueva del Fresno, Badajoz, repitiendo y ampliando la descripción de los caracteres y poniendo la atención principal en reseñar las condiciones en que aparece esta roca, acompañando fotografías demostrativas.

El trabajo sugiere la necesidad de ir localizando sobre mapa los futuros posibles yacimientos de matalanita y rocas análogas (sin olvidar las que descubrieron los antiguos con el nombre de *escorias*) e incita a que se vea si los yacimientos de estas rocas guardan disposiciones

lineales que puedan corresponder a directrices de fracturas y estén relacionadas con nuevos criaderos de minerales. Finalmente, hace unas consideraciones en torno a la posible edad de aparición de esta roca, que cree relacionada con la orogenia alpina.

Que nosotros sepamos, así está la cuestión en el momento que nos disponemos a redactar las presentes líneas, ignorando si esta roca ha sido objeto de algún otro trabajo de investigación.

LOCALIDADES, COLECTORES Y CARACTERES

Deseosos de poder contribuir al conocimiento de este problema, hemos creído que podría ser del mayor interés hacer referencia a otros ejemplares de *escorias*, de *matalanitas*, que tenemos coleccionado en nuestro laboratorio de Mérida, Badajoz, indicando sus procedencias, el autor de los hallazgos y las particularidades que presentan los testigos recogidos, acompañando unas breves consideraciones a cada caso.

Procediendo con arreglo a las fechas de los hallazgos, hacemos la siguiente enumeración:

1. *La Felgueroná, Zalamca de la Serena, Badajoz.*
(Fig. 5, núm. 3).

Recogido directamente en el campo por don Enrique Ramírez y Ramírez, en octubre de 1950.

Se poseen cinco ejemplares de esta localidad, de tamaño relativamente pequeño.

Por sus caracteres, son masas cordadas, de cordones

estrechos, ondulantes, ramificados, dispuestos en haces o penachos. Aspecto ferruginoso, gris acerado, brillantes y de superficies superiores pulidas. Alvéolos frecuentes. En la superficie interior llevan, fuertemente adheridos, granos de arenas y de tierras.

Desconocemos las particularidades del lugar donde fueron encontrados los ejemplares.

2. *El Coronito. Cañamero. Cáceres.* (Fig. 5, núm. 4.)

Recogido por el autor de estas líneas el 20 de octubre de 1950.

Se poseen cuatro ejemplares de esta localidad.

Son nódulos negros, angulosos por roturas, de superficies naturales rugosas y contornos de tipo fluidal solidificado. Cavidades cavernosas o porosas, producidas por presiones de burbujas de gases; algunas cavernas grandes.

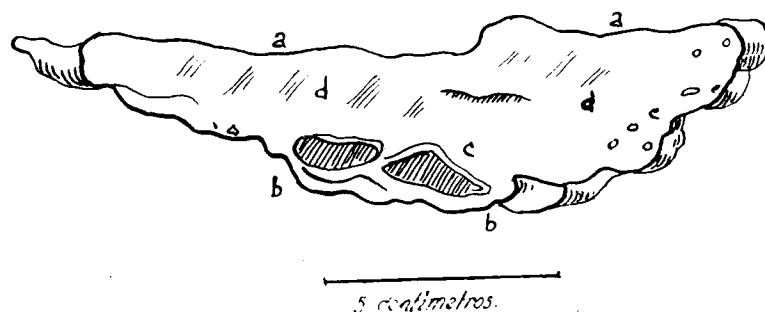


Fig. 4. *Matalanita*. Sección transversal presentando una superficie plana de rotura. Ejemplar de la fig. 1. de tamaño $16 \times 14 \times 5$ cms. Cortijo-Dehesa Morales, SE. de Cordobilla del Lácara, Badajoz. a.—Perfil de la cara superior, plana y provista de cordeles aplastados. b.—Perfil de la cara inferior, convexa, provista de cordones no aplastados, a veces huecos y con cavernas, superficie conteniendo partículas terrosas y granuladas muy adheridas. c.—Poros y alveolos producidos por gases aprisionados. d.—Superficie transversal de rotura, de aspecto piritoso y con brillos amarillento verdosos.

Estos ejemplares se encontraron en campo libre, y próximo a ellos se recogieron nódulos de hierro limonítico, de pequeño tamaño, hallazgo puramente accidental que consideramos sin ninguna relación genética con la matalanita.

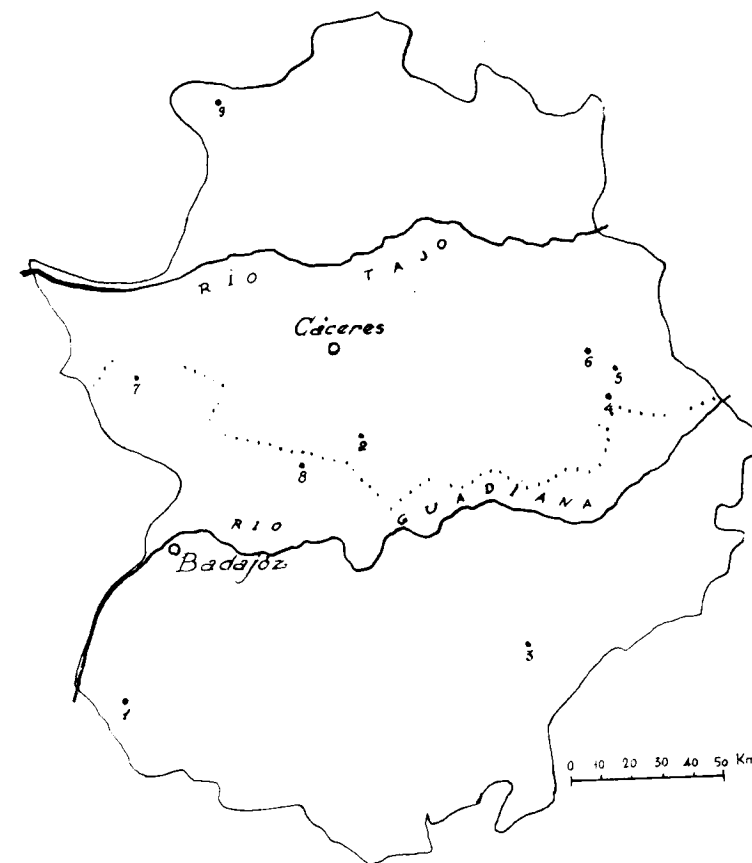


Fig. 5. Croquis de Extremadura y lugares de los yacimientos de la matalanita: 1.—Villanueva del Fresno. 2.—Puerto de las Herrerías. 3.—Zalamea de la Serena. 4.—Coronito. 5.—Guadalupe. 6.—Silvadillo. 7.—San Vicenté de Alcántara. 8.—Dehesa Morales. 9.—Valverde del Fresno.

3. *Camino viejo de Cañamero a Guadalupe, Cáceres.* (Fig. 5, núm. 5).

Recogido por el autor de estas líneas el 24 de diciembre de 1951.

Se poseen dos ejemplares de esta localidad, de tamaños relativamente pequeños, 12 por 4,5 y 12 por 4 centímetros.

Se trata de masas rebajadas con dos caras: una, superior, de relieve cordado, de corrientes cónicas algo aplastadas, terminaciones en forma de gota grande, cordones a veces cruzados. Superficie general oscura, acerada, pulida y brillante. La cara inferior es rugosa, irregular, algo amamelonada, y aprisionando partículas terrosas o pétreas.

La masa total es compacta, pero en algunos puntos es porosa y con cavidades.

4. *Valle del Silvadillo. Cañamero, Cáceres.* (Fig. 5, número 6).

Recogido por don Antonio Espárrago el 23 de noviembre de 1955.

Se poseen cuatro ejemplares, en nódulos cuyo diámetro mayor es de 7 centímetros.

Son de aspecto escoriáceo, ferrífero, angulosos por rotura, irregulares, muy porosos y cavernosos, con alguna cavidad grande. Algunos con superficies de roturas metálicas, brillantes, amarillentas algo irisadas. Las superficies limitantes naturales son lisas, oscuras, aceradas, de contornos redondeados. Uno de los ejem-

plares tiene fuertemente adherida una pizarra arcillosas, verdosa, endurecida y afectada de alteración por contacto.

5. *San Vicente de Alcántara, Badajoz.* (Fig. 5, número 7).

Donativo de don Eusebio Redondo Fernández el 24 de enero de 1957.

Se poseen nueve ejemplares, el mayor de 8 centímetros de diámetro transversal, siguiendo tres ejemplares más pequeños y cuatro todavía menores a éstos.

Son de características generales, cordados por la parte superior, rugosos y verrugosos por la parte inferior. De aspecto metálico, brillo amarillento piritoso o verdoso azulado, etc. Son cavernosos y alveolares.

Dado su tamaño corto, y por tanto el poco desarrollo que ofrecen algunos de los detalles, no se alude a otros caracteres que se referirán al tratar de otros ejemplares.

6. *Dehesa Cortijo Morales, al sureste de Cordobilla del Lácara (Badajoz).* (Fig. 5, núm. 8).

Recogido por el autor de estas líneas el 6 de octubre de 1957.

Se poseen ocho ejemplares: uno grande de 19 por 14 por 5 cm. (fig. 1), otros medianos de 7 por 7 por 5 centímetros (figs. 2 y 3) y otros más pequeños. Pero el yacimiento es inagotable.

La pieza grande (fig. 1) tiene dos superficies principales, opuestas, que limitan la masa total, la superior casi plana, y la inferior convexa. La superior es de aspecto

metálico, surcada por cuerda de colada de fusión según regueros orientados todos en el mismo sentido, contiguos, ondulantes con estrechamientos y expansiones, más o menos paralelos, que a veces saltan y se superponen entre sí; las terminaciones naturales son en formas de cabezuelas redondas. Toda la superficie es pulida, metálica, negra, de tono azulado oscuro, con los cordones generalmente rebajados, pero con relieve que destaca.

La cara inferior es convexa, con la cuerdas delatoras de las corrientes igualmente orientadas, paralelas, abultadas y grosores diferentes. Algunos de estos cordones son tubulares. Son frecuentes los poros y oquedades. Toda la superficie inferior es rugosa, de aspecto ferruginoso y cubierta de granos de diferente naturaleza, arenas de cuarzo, arcilla consolidada, etc., fuertemente pegados a la matalanita.

En la cara de la sección transversal (fig. 4), visible por rotura, aparece la naturaleza del cuerpo, que es metálico, muy duro, de brillos amarillo azulados que recuerdan el aspecto de ciertas piritas y calcopiritas. Por la parte superior de la sección, el borde termina en la cara de los bucles acerados, y por la parte inferior, no tan bien definida, antes de su terminación existe una leve zona que corresponde al corte en sección de parte de los bucles cavernosos y zona porosa con alvéolos.

El conjunto de la pieza que describimos es una lengua eruptiva de materiales en fusión que ha poseído una dinámica de avance en longitud por la superficie del suelo, formando acoplamiento de surco, por su parte inferior, y dejando superficie casi horizontal, como corresponde a cuerpo fluido, por la parte superior.

Estos mismos caracteres son aplicables a otros ejemplares de este mismo yacimiento, salvo pequeñas variantes. Los que corresponden a las figuras 2 y 3 se distin-

guen porque los cordones superficiales son más delgados y más cilíndricos.

De las piezas de este lote hay una que ofrece dos particularidades que se deben tener en cuenta. La primera es triba en que en el interior de la masa matalanítica puede verse la existencia de elementos terrígenos y petrosos que han quedado fuertemente aprisionados, lo que indica un período de fluidez precedente.

La otra particularidad corresponde a la cara inferior. Toda la superficie es un molde múltiple, negativo, donde ha quedado impresa una cara superior de corriente de matalanita. Presenta, en reproducción negativa, surcos acanalados, ondulantes, etc., de una superficie positiva. Es decir, que sobre un lecho formado por una matalanita, ya consolidada, circuló una nueva colada fluida, que al acoplarse sobre la cara de la base, sin soldarse con ella, reprodujo su forma en molde negativo.

Entre los detalles generales correspondientes a todos los ejemplares de esta localidad, figura también el de las caras saturadas de vacuolas, producto de una especie de burbujeo gaseoso marginal, de esferitas estalladas, que han quedado en forma de cavidades solidificadas. Cuando las pequeñas esferas no han hecho explosión, la superficie, levantada, queda salpicada de verrugas o de campo botriolar.

7. *Sin localidad.* Sin fecha de hallazgo.

Donados al autor de estas líneas en diciembre de 1957. Se poseen diez ejemplares.

Son de diferentes tamaños, angulosos y ganchudos por efecto de las superficies de rotura.

El mayor tiene seis centímetros de diámetro y un espesor equivalente. Tienen como carácter predominante,

entre todos ellos, que, mientras la superficie superior es cordada, con cuerdas paralelas y entrecruzadas, con superposiciones lisas, aceradas o negras, por la parte inferior son muy irregulares, rugosos, con grandes mamelones retorcidos, sencillos o múltiples y algo estalactíticos que contrastan con cavidades profundas e irregulares. La disposición que presentan en la cara inferior parece debida a que, la matalanita, cuando estaba en estado pastoso, se amoldó a las irregularidades del suelo y aún penetró en él, según los casos, con lo cual las cavidades que ahora presentan los ejemplares correspondientes a puntos resistentes del suelo, mientras que los salientes, nudos y verrugas, corresponderán a los lugares por donde la masa fluida hizo penetración en el suelo.

Uno de los ejemplares que está cortado en sección por rotura, muestra el grueso del cuerpo provisto de perforaciones alargadas paralelas y a la vez coincidentes con el eje inferior de los cordones de estas rocas, lo que demuestra la importancia que ha podido tener la existencia de gases aprisionados, dando movilidad y fluidez a estos materiales en los momentos de emisión. El paralelismo y dirección de estas cavernas alargadas debe estar en relación con la marcha de los derrames lávicos.

Por su parte, las cavidades grandes y superficiales son el resultado de la explosión de burbujas de aire, que al escapar dejaron su huella en los rebordes desflecados y solidificados.

Los testigos de este lote, en muchos puntos, son de masa compacta y de superficies metálicas con brillos amarillo azulados.

8. *Sin localidad.* Sin fecha de hallazgo.

Donados al autor de estas líneas en febrero de 1958.

Se poseen dos ejemplares.

No ofrecen particularidades propias. El mayor es de seis centímetros de largo por la parte superior. Presenta cuerdas delgadas ondulantes, paralelas, soldándose algunas, dando lugar a haces más abultados. La cara inferior es irregular, mamelonada, con pequeña apófisis de acoplamiento al suelo por donde circuló.

El pequeño es gris azulado muy brillante por la parte superior, y muy irregular por la parte inferior.

9. *Sin localidad.* Sin fecha de hallazgo.

Donado al autor de estas líneas en julio de 1958.

Se posee un solo ejemplar, que tiene 10 por 8 por 6.5 centímetros.

Es una masa metálica, compacta, maciza, con las caras laterales de roturas completamente planas, con brillo amarillento piritoso y reflejos amarillo verdosos. Las dos superficies naturales limitantes son rugosas, pero con ciertas diferencias. La cara superior está totalmente perforada por multitud de celdillas, pequeñas, de contornos contiguos, tangentes, de conjunto esponjoso, recordando ciertas lavas basálticas, aspecto debido a un burbujeo gaseoso. La cara inferior es irregular, verrugosa, debido a acoplamientos.

Parere que se trata de parte de una masa que en estado pastoso se abrió paso por el interior de un terreno que la aprisionó por las dos caras limitantes, masa que reac-

cionó con expansión de gases por la parte de la superficie superior y con acoplamientos al suelo por la superficie de la parte inferior.

Particularidades sobre el modo de yacer.

A la vista de lo que queda reseñado, resulta que se poseen ejemplares de *nueve procedencias diferentes*, nuevas, de las cuales, tres han sido recogidos por nosotros mismos en el campo y todos los restantes nos han sido entregados en mano.

De las que nos han sido entregados no se poseen detalles de sus condiciones de yacer: parece que, en todos los casos, han sido hallados en piezas sueltas, diseminados en el suelo. Constituye una excepción el caso de los ejemplares de la Dehesa-Cortijo de Morales, porque presenta un afloramiento muy manifiesto y quizás modelo de su clase, el día que se estudie debidamente.

El yacimiento está en las proximidades de la casa del Cortijo, en la vallonada de un regato, sobre terrenos pizarrosos silúricos, y destaca levemente sobre la superficie del suelo. Se presenta confundido con las tierras con cantos sueltos de matalanita, muy abundantes. Se ve que el material está incrustado en el suelo, como emergido del interior y como si se tratara de los restos imprecisos de una chimenea de vulcanito, que está atravesando pizarras silúricas. Visible en superficie: ocupará sobre unos 50 metros cuadrados.

El lugar donde se encuentra esta matalanita es conocido con el nombre de «La Fragua» y así se denomina tanto por los dueños de la finca, señores de Mateos López Montenegro, como por los que frecuentan estos parajes. La denominación es expresiva.

El punto donde aflora es una loma suave, que por la

naturaleza de estos materiales ha resistido a la erosión y forma relieve.

Desde el punto de vista geológico general, este yacimiento tiene dos características: que está muy próximo a los afloramientos de una roca eruptiva básica, probablemente una diabasa, y que está emplazado en una zona de tectónica fracturada en terrenos silúricos.

No creemos que la diabasa y la matalanita tengan ninguna clase de relación directa de tipo efusivo; sin embargo, como la diabasa se halla en una zona de fracturas transversales al rumbo de los pliegues hercínicos del Silúrico, es muy posible que este espacio, pasada la emisión de la diabasa, continuó siendo una zona débil, donde más tarde han podido repetirse otras erupciones, como la que dió lugar a la matalanita.

Los ejemplares del sendero de Cañamero a Guadalupe, los del Coronito, y los de valle del río Silvadillo, todos están emplazados en las montañas de la Sierra de las Villuercas, que todas ellas son, casi exclusivamente, de terrenos silúricos intensamente plegados y fallados, como consecuencia de la orogenia hercimiana. (5). Por tanto, cabe pensar en la relación que existe entre estas matalanitas y las condiciones geológico-tectónicas de los lugares donde se han encontrado.

Los hallazgos de Zalamea de la Serena y San Vicente de Alcántara, aunque se ignoran detalles, quizás estén relacionados con el Silúrico.

Las referencias aportadas por el señor Baselga (2) sobre los estudios efectuados por los señores Roso de Luna y Hernández-Pacheco, en las explicaciones de las Hojas del Mapa Geológico correspondientes a Miajadas, Mirandilla y Alcuéscar, como él mismo advierte, están en localidades de terrenos silúricos y fracturados.

Y la cita tomada de Mallada en su clásica Memoria

sobre la Provincia de Cáceres, pág. 302 (1), se refiere a la Sierra de Guadalupe, también silúrica.

En conclusión, por ahora, parece que todas las manifestaciones eruptivas de la matalanita guardan una íntima conexión con los terrenos de edad silúrica y con los accidentes tectónicos que les afectaron después de las actividades hercínicas.

En cuanto a la edad geológica de la matalanita, mucho más reciente, es posible que date de la orogenia alpina, como ya indica el señor Baselga.

RESUMEN DE LOCALIDADES Y DE HALLAZGOS

Para formar una idea de la extensión que van tomando los hallazgos de la matalanita, reunimos a continuación un resumen de las localidades conocidas hasta ahora, que suman cerca de veinte. En cuanto a número de piezas, nosotros contamos, en nuestras colecciones, con más de cuarenta ejemplares.

Localidades citadas por el señor Baselga Recarte:

1850.—Ezquerria del Bayo.—Mesa de los Pinos, (Huelva).

1876.—Mallada.—Sierra de Guadalupe (Cáceres).

1946.—Roso de Luna y Hernández-Pacheco.—Miajadas (Cáceres).

1951.—Roso de Luna y Hernández-Pacheco.—Puerto Herrerías (Cáceres).

1952.—Baselga Recarte.—Villanueva del Fresno (Badajoz).

1953.—García Figuerola.—Valverde del Fresno (Cáceres).

1953.—Baselga Recarte.—Villanueva del Fresno (Badajoz).

Localidades citadas por Sos Baynat:

1950.—Ramírez y Ramírez.—Zalamea de la Serena (Badajoz).

1950.—Sos Baynat.—Coronito-Cañamero (Cáceres).

1951.—Sos Baynat.—Cañamero-Guadalupe (Cáceres).

1955.—Espárrago Aretio.—Silvadillo (Cáceres).

1957.—Redondo Fernández.—San Vicente de Alcántara (Badajoz).

1957.—Sos Baynat.—Cordobilla (Badajoz).

1957.—Sos Baynat.—Sin localidad.

1958.—Sos Baynat.—Sin localidad.

1958.—Sos Baynat.—Sin localidad.

Por la distribución geográfica que tienen las nuevas localidades consignadas, los hallazgos están comprendidos también dentro de la alineación Columbrete, Cofrentes, Campos de Calatrava y zonas del Algarbe, igual que lo observado por el señor Baselga para los yacimientos estudiados por él.

De los yacimientos enumerados por nosotros, el más importante es el de la Dehesa Morales, sobre el cual pensamos insistir en cuanto tengamos ocasión.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) EGOZCUE, J. y MALLADA, L.: *Memoria Geológico-Minera de la provincia de Cáceres*. «Mem. Com. del Mapa Geológico». Madrid, 1876.
- (2) BASELGA RECARTE, A.: *Matalanita. Nueva roca volcánica encontrada en Villanueva del Fresno (Badajoz)*. NOT. Y COM. DEL INSTITUTO GEOL. Y MIN. DE ESPAÑA, núm. 28, Madrid, 1952.
- (3) GARCÍA FIGUEROLA, L.: *Análisis sobre una escoria supuesta volcánica*. NOT. Y COM. DEL INSTITUTO GEOL. Y MIN. DE ESPAÑA, número 30, Madrid, 1953.
- (4) BASELGA RECARTE, A.: *Nuevo yacimiento de Matalanita*. NOT. Y COM. DEL INST. GEOL. Y MIN. DE ESPAÑA, núm. 32, Madrid, 1953.
- (5) SOS BAYNAT (V.): *Geología y Morfología de las Sierras de las Villuercas (Cáceres)*. «Estudios Geográficos», año XVI, número 61, 1955, año XVII, núm. 64, 1956, Madrid.

JORGE DOETSCH-SUNDHEIM

LA ENSEÑANZA DE LA MINERALOGIA

El tema propuesto para desarrollar es complejo, muy difícil de exponer y de tratar debidamente en unas cuantas líneas, e imposible de agotar, como sería la finalidad del presente trabajo. Pero, la tentación de hablar de este tema vivido durante bastantes años, hizo irremediable su elección.

Hemos ido escogiendo algunos puntos concretos, aislados unos de otros, que no suelen ser tratados con frecuencia y que, a nuestro juicio, merecen serlo, con objeto de mejorar la enseñanza de la Mineralogía. Son bastantes y nos hemos visto obligados a dejar la gran mayoría de ellos para exponerlos en otra ocasión. Otros, quizá y sin quizás, de mayor importancia y de mayor difusión pública, no se citarán siquiera.

En relación con la *Enseñanza* en general y sus múltiples problemas, son ya muchísimos los autores de renombre valía que han opinado acerca de ellos; y puede afirmarse que no existe tendencia filosófico-política-pedagógica, que no haya querido dar sistemas apropiados para solventar los problemas de la Enseñanza. Es natural que las soluciones dadas vienen en función y dependencia de sus propios puntos de vista filosóficos y pedagógicos, reduciéndose así a un número bien escaso el de las soluciones verdaderas y objetivas de estos

problemas. Pero ni su enumeración ni su crítica nos están permitidas en estas líneas, dado el fin propuesto.

También son de gran importancia los problemas relacionados con la *Mineralogía*, tomada ésta en el más amplio sentido de la palabra, ya que comprende el estudio de un estado físico, en el que se presenta la materia que para la técnica es sencillamente fundamental. Nos referimos a lo que se ha dado en llamar *estado sólido de la materia*.

En este producto de fusión de Enseñanza y de Mineralogía, al que podríamos considerar, conforme a Aristóteles, como producto hylemórfico, en el cual la forma sería la Enseñanza y la materia la Mineralogía, se ha de considerar cada uno de estos dos principios por separado y luego el producto obtenido por la unión de ambos principios. Por lo tanto, tres serán las partes principales de la disertación:

I.—La Enseñanza.

II.—La Mineralogía.

III.—La Enseñanza de la Mineralogía.

I. LA ENSEÑANZA

Definiciones.

Define la Real Academia de la Lengua Española la *enseñanza* como la acción y efecto de enseñar. Para ella *enseñar*, en el sentido que nos cuadra, equivale a instruir, hacer adquirir conocimientos, doctrinas, reglas o preceptos.

Hemos, sin embargo, de tener en cuenta que la *enseñanza*, en concreto, es muy compleja y variada, pues comprende desde la enseñanza de las primeras letras en

una Escuela de párvulos, hasta la enseñanza de la moderna Física estadística. El campo de acción es, por tanto, extraordinariamente extenso.

La definición general dada de *enseñar* ha de verificarse en cada caso particular; y como la acción de enseñar no puede prescindir en momento alguno del «enseñado», del que recibe la enseñanza, evidente es que se le tenga en cuenta.

Entendemos que *el enseñar* es una acción racional, y prescindimos naturalmente del amaestramiento, merced al cual podemos amaestrar a los animales. Pero, por ser esencialmente una acción racional, han de entrar en juego las facultades racionales del que enseña y del enseñado. Prescindiendo también, en aras de la brevedad de exposición, de las facultades racionales del enseñante, vamos en concreto a ocuparnos de las facultades del enseñado.

Potencias del alma.

Tres son las facultades del alma racional: memoria, entendimiento y voluntad. Todas ellas hacen a nuestro caso; y empezando por la última, es patente que si el enseñado o alumno no tiene voluntad de aprender, de dejarse enseñar, el enseñante o Profesor pierde el tiempo queriéndole enseñar. Nos quedan, pues, las dos primeras facultades: memoria y entendimiento. Sabido es que el entendimiento es tenido por más noble que la memoria. No es que se funde esta creencia, o este hecho, en el dicho de Chateaubriand, que afirmaba que *la memoria es atributo característico de los tontos*, sino que el entendimiento es, en realidad, la facultad racional, por excelencia, del alma humana. Gran número de personas, en verdad, lo tienen por tal, y por eso sabiamente decía F. La Rochefoucauld en el número 89 de sus «Ma-

ximes»: *Tout le monde se plaint de sa mémoire, et personne ne se plaint de son jugement*, o sea, todo el mundo se queja de su memoria, pero nadie se queja de su juicio.

No se vaya a deducir de lo dicho que la memoria queda menospreciada por completo. No es así, pues juega un papel decisivo en diferentes etapas del enseñar, por ejemplo, en la enseñanza de las primeras letras y después, en distintas enseñanzas científicas del gran caudal del saber humano. Lo que sucede es que si no va acompañada de un desarrollo conveniente del entendimiento racional humano, puede ser sustituida por unos discos de gramófono o cintas magnetofónicas impresionadas para el caso, o bien, en otro sentido, por un fichero bien organizado. Y, apoyándonos en este último ejemplo, recordemos que el entendimiento es el que ha presidido la organización de dicho fichero.

Una finalidad de la enseñanza.

Hemos enfocado la exposición de lo mucho que se puede decir de la enseñanza de esta suerte para venir a concluir con J. W. Goethe (Sprueche in Prosa) *Was man nicht versteht besitzt man nicht*, o sea, lo que no se entiende no se posee.

Es necesario comunicarle, al enseñado o al alumno, los materiales necesarios con los cuales sea él mismo capaz de forjarse una definición, una síntesis de lo que estudia. Y, a este propósito, decía el pensador francés Gerande: *Le véritable enseignement n'est pas celui qui transmet des notions, toutes faites, mais celui qui rend capable de se former à soi-même des bonnes notions*, o sea, la verdadera enseñanza no es la que transmite nociones ya hechas o formuladas, sino la que capacita a cada uno para formarse buenas nociones por sí mismo.

Es, pues, una de las grandes tareas del que enseña, llevar al ánimo, al entendimiento del alumno, la necesidad de conocer y hacer suyos los fundamentos de las materias que está aprendiendo. A medida que vaya progresando el alumno, se le debe descubrir los límites impuestos por la condición del ser humano, particularmente en las Ciencias Naturales, en las cuales, el conocimiento de los hechos naturales es asintótico del conocimiento de la realidad total existente en la Naturaleza.

Modalidad de la enseñanza

La enseñanza, tomada en general, se aplica a toda clase de *ciencia*, y como es sabido que ésta, según la clásica división, comprende las *Ciencias Matemáticas*, las *Ciencias Naturales* y las *Ciencias Culturales* y del *Espíritu*, a todas ellas se aplica la enseñanza. Ni que decir tiene que la enseñanza, conservando sus rasgos fundamentales, tiene matices especiales impuestos por la materia que se enseña. Y dentro de una misma materia, el grado inferior, medio o superior de la enseñanza, llevará consigo otros matices distintos.

En lo que a nosotros se refiere, nos cernimos a la enseñanza de las Ciencias Naturales, y al escoger una de ellas, la Física, por ejemplo, ya que en trabajos anteriores (1), la incluimos, juntamente con la Química, entre y a la cabeza de las Ciencias Naturales, podremos matizar aún más lo dicho anteriormente.

La Física suele darse en varios cursos, gradual y cíclicamente, en dependencia de la complejidad de la materia y de la capacidad de los alumnos. Así, los posteriores cursos complementan y profundizan los cono-

(1) *Breve Introducción a las Ciencias Naturales*. Madrid, 1950

cimientos de Física ya adquiridos por los alumnos y que, en aquel entonces, no podían entender por faltarles los conocimientos auxiliares precisos para ello y que han debido adquirir al llegar a comenzar el curso inmediato más elevado o superior. Siguiendo este modo, se les puede explicar en un curso la *física clásica*, cuyos modelos prescinden de la esencia y de la estructura de la materia que en realidad forma los cuerpos modelizados que **utiliza** la física clásica como sostén o soporte de los **fenómenos físicos que estudia**. En otro curso se les puede explicar la *física cuántica*, que **encierra** una teoría de los ínfimos microsillares del mundo material, o **sea, los electrones, átomos y moléculas**, siguiéndose un tercer **curso**, en el cual, se les oriente acerca de la *física estadística*, que procura establecer contactos entre los conocimientos adquiridos por el estudio de la física cuántica y los fenómenos explicados por la física clásica, procurando explicar la razón de la existencia de ellos.

Del ejemplo que antecede se deduce la inmediata conveniencia, por no decir necesidad, de una *graduación en la enseñanza*, aún superior, de una misma materia como es la *Física*. Se necesita una preparación previa y adecuada para sacar provecho de las explicaciones; sin ella es poco menos que imposible de dominar.

Enseñanza teórica y práctica.

Pero, se ha de tener en cuenta que en toda la enseñanza y muy particularmente en las Ciencias Naturales, existe un doble aspecto esencial. Nos referimos a la *enseñanza teórica* y a la *enseñanza práctica*, que se complementan mutuamente. Se le ha de dar a la enseñanza práctica una importancia grande y una parte considerable de los exámenes de suficiencia en las Ciencias Naturales ha de consistir precisamente en las prácticas.

A propósito de los resultados obtenidos en los ejercicios prácticos se les preguntará a los alumnos las explicaciones técnicas teóricas requeridas con toda la profundidad y extensión que se juzguen suficientes al grado o nivel de conocimientos que les corresponde alcanzar.

Disposiciones del alumno

La enseñanza teórica o práctica supone siempre un *esfuerzo* del alumno. En este sentido hemos afirmado al comienzo, al hablar de las facultades del alma y concretamente de la voluntad del que aprende, del alumno. que si no pone de su parte, es totalmente imposible que se le enseñe, que aprenda. El alumno ha de hacer suyos los elementos que le suministra el maestro. Estos elementos los ha de obtener no sólo de las explicaciones del maestro o profesor, sino también, de obras y de revistas, al menos en los centros de cultura superior, donde la materia que se explica tiene cada día más amplia extensión y no es frecuentemente posible que pueda ser recopilada en un pequeño libro de texto. Hoy por hoy, no puede hacer al caso, con completo rigor, aquel aforismo de antaño: *Timeo hominem unius libri*, temo al hombre que se sepa a fondo un libro. Este aforismo, sin embargo, referido al *método* usado en una ciencia natural particular, tiene validez aún hoy en día, pues dominando el método de la ciencia natural particular podrá orientarse y resolver los problemas que se le presenten y que atañen a esa ciencia natural concreta.

Lamentable fué en este sentido la confesión de un alumno de cierto Centro de Estudios Superiores, en el que se hacía portavoz de la mayoría de los alumnos que cursaban determinada ciencia natural particular, en la que hacía constar que no sabían aprender, a no ser que se les señalase un texto, se les obligase como

preparación de la clase siguiente, a estudiar cierto número de páginas, y que al día siguiente se las preguntasen. Este hecho denota la defectuosa preparación con que se presentan a cursar estudios superiores una mayoría de estudiantes y que, debido a ello, no pueden progresar en los estudios. No se trata, evidentemente, de aprenderse las cosas de memoria en un Centro de Estudios Superiores. Es necesario que las entienda a fondo. De lo contrario, sería preferible cerrar dichos Centros. Pero si los alumnos no llegan capacitados para seguir una explicación de parte o de toda la materia que han de cursar, no queda más remedio que animarlos a que aprendan a sacar de las explicaciones del profesor los elementos fundamentales que necesitan saber (nunca es tarde si la dicha es buena) o bien, que el profesor se amolde a su ínfima facultad de asimilación haciéndoles unos apuntes, o mejor, un texto, pero con evidente perjuicio de ellos que así jamás saldrán de una mediocridad intelectual.

Apuntes y texto.

Y ya que hemos hecho referencia a *apuntes y a textos*, vamos a hablar de pasada, y por un momento, de ellos. En el extranjero suelen los alumnos tomar las explicaciones de los profesores y una vez revisados por éste, los imprimen, constituyendo un anhelado guión de la materia que explica el maestro o profesor. El texto es obra del profesor y contiene las explicaciones que da a los alumnos, bien escuetamente, bien algo más extensas, pero sin llegar, en la gran mayoría de los casos, a desmenuzar todos y cada uno de los problemas. ¡Cuántas veces nos hemos encontrado con frases engañosas como la siguiente: «de lo dicho se deduce fácilmente la siguiente ecuación», ¡y tardar muchas horas en caer en la

cuenta cómo se deducía! Pero lo cierto, es que una vez deducida no se volvía a olvidar su deducción, se había aprendido de veras. Si el autor hubiese explicado la deducción y los artificios que había que hacer, no se hubiese quedado grabado, y más adelante no se hubiese podido aplicar la agilidad mental adquirida a nuevos problemas por solucionar. Claro está, que se objeta a tal proceder que el alumno *pierde* mucho tiempo, sin jamás pensar en lo que gana en intensidad y profundidad y dominio de la materia, que a fin de cuentas es lo que interesa. Es lo que quedará al terminar su formación, y no sólo un título oficial.

Aplicaciones.

No es quizá aconsejable, mientras tanto que el tipo medio del alumno que asiste a los Centros de Estudios Superiores Técnicos venga tan defectuosamente preparado, exigirle con rigor lo que acabamos de esbozar. Probablemente no será posible otra cosa que darle un «baño» de «Ingeniero», realizando el maestro o profesor parte de la labor esencial del alumno. Nos referimos, en concreto, al desmenuzamiento de la materia que han de asimilar los alumnos, llegando incluso a explicarles los fundamentos necesarios para la intelección de la materia que se explica y que deberían en todo caso dominar, al comenzar el curso de una materia determinada.

Es de esperar, sin embargo, que al llegar a los cursos comprendidos en el plan vigente para la colación de la dignidad académica del doctor ingeniero, hayan hecho durante los años anteriores el acopio conveniente de ciencia que les dé derecho a esa aspiración, en relación a colegas extranjeros futuros.

Método de Investigación de las Ciencias Naturales.

Mucho es lo que habría que hablar del *método* propio de las Ciencias Naturales. El método, en sí, no es otra cosa que el camino que conduce al conocimiento de las causas, y aplicado al conocimiento de las Ciencias Naturales es el camino que nos lleva a conocer las causas físicas de los fenómenos naturales observados. Por lo tanto, la importancia del método es grande en las Ciencias Naturales y en todas las Ciencias.

Desde un punto de vista metodológico se define la ciencia en general, como un cuerpo de conocimientos organizados. No deja lugar a dudas que una vez organizados los conocimientos adquiridos, se pueda lograr descubrir las causas, y que conocidas éstas, en nuestro caso las causas físicas, se consiga estructurar la ciencia, que se define esencialmente como: el conocimiento de las causas de las cosas, hechos o fenómenos.

E. R. Downing, de la Universidad de Chicago, considera que el método propio de investigación de las Ciencias puede ser deducido del estudio o análisis del proceso científico. Descompone a este en 7 «elementos» que son los siguientes: Observación con finalidad determinada. Análisis-síntesis, Selección, Hipótesis, Comprobación por inferencia y experimento, Razonamientos usando los métodos de concordancia, de diferencias, de residuos, de variación concomitante, de concordancia y de diferencias conjuntos, y por fin, el Juicio. A estos «Elementos» añade 16 «consideraciones» que en aras a la brevedad omitimos.

Usando el método anteriormente referido u otro parecido, procurando hacer desaparecer en cuanto humanamente se pueda la apreciación subjetiva del operador,

se logrará nuevas posiciones adelantadas y el progreso de las Ciencias Naturales proseguirá raudo y veloz.

Epistemología en las Ciencias Naturales.

No podemos menos de recomendar, dentro del marco de la Enseñanza Superior, cierto grado de saber acerca de las *teorías del conocimiento humano* llamado también *Criteriología* (= doctrina de los criterios, e. d. características de la verdad), *Epistemología* (= doctrina del saber), *Gnoscología* (= doctrina del conocimiento), y *Noética* (= doctrina del pensar).

Comprende la *teoría del conocimiento*, en sentido amplio, no sólo las investigaciones psicológicas de la génesis y del ser del conocimiento humano, sino que se extiende también al estudio crítico del valor objetivo de tales conocimientos. En sentido estricto, equivale a la crítica del conocimiento, que no es otra cosa que la investigación filosófica del valor objetivo de nuestros conocimientos o, expresado de otro modo, es la investigación filosófica de la capacidad de aprehender la verdad de nuestro entendimiento y simultáneamente de los límites de este conocimiento. En realidad, estudia la posibilidad de certeza de la verdad de nuestro pensar y la extensión de esta posibilidad.

La teoría del conocimiento es esencial para todas las ciencias, pues investiga las condiciones del verdadero valor de las ciencias y, en nuestro caso, de las Ciencias Naturales.

Son varias las *escuelas filosóficas* que niegan el valor de nuestros conocimientos exteriores a nosotros mismos. En particular, es la *escuela positivista*, en sus diferentes matices (antiguos y modernos), la que merece considerarse algo más detalladamente, debido a las numerosas ramificaciones que presenta.

El *positivismo* exige de cada ciencia que se base únicamente en fenómenos perceptibles por nuestros sentidos y que se limite a constatar la existencia de ellos y la conexión según las reglas o leyes que se puedan encontrar. Para esta escuela, la Naturaleza no es otra cosa que una suma de nuestras percepciones sensibles (Hume, Comte, Mach, etc.). Según Comte, toda ciencia ha de pasar por tres fases de desarrollo (Teológica, metafísica y positiva). No se admite explicaciones de los fenómenos que presuman causas de ellos, y menos aún que muestren rasgos esenciales de dichos fenómenos. El máximo exponente de la Ciencia Natural lo representa la predicción de un fenómeno fundado en una ley natural y éstas son consideradas tan sólo como reglas empíricas que permiten ordenar los fenómenos naturales.

Los *neopositivistas*, de los cuales es portavoz la *escuela vienesa* (Schlik, Frank, Carnap, Neurath), afirman que los conceptos y teorías físicos, o bien, los métodos de conocimientos propios de las ciencias matemática-naturales se extienden a todos los campos del conocimiento. Todo problema que no puede solucionarse aplicando estos métodos, o sea, cuya solución no puede ser comprobada por la experiencia, deberán ser considerados como «problemas aparentes» y no deberán tenerse en cuenta. Esta posición, a todas luces, representa el golpe de gracia a toda ciencia cultural y religiosa.

Nos falta por hablar de los *neopositivistas científicos*, entre los cuales, hay que enumerar a Heisenberg, Bohr, Jordan, etc. Su posición es la de un *positivismo moderado* que, principalmente, se hace ostensible al hablar de los fenómenos que se encuentran en la microfísica (Mecánica cuántica y principio de la causalidad en este dominio de la física). Defienden la supresión de todo elemento de representación (conceptual o figurado) que

sobrepase a los datos de la experimentación y que se introducen en los resultados consciente o inconscientemente en el proceso del conocimiento, convirtiendo en engañosos esos resultados. Según afirman, se ha de aplicar de una manera radical el método del pensar científico exacto, eliminando los residuos conceptuales pre-científicos. Pero deberían concretar cuáles son éstos y en qué manera perturban los resultados.

Se ha de distinguir con cuidado de la doctrina positivista, el *método positivista*, que es usado por múltiples investigadores en el campo de las ciencias naturales, en la actualidad. Conforme a este método, sólo tienen sentido inmediato aquellas soluciones que se basan directamente en nuestras sensaciones sensitivas, incluyendo entre éstas las predichas por las leyes naturales ya conocidas. Toda otra afirmación o solución de problemas, tiene únicamente sentido a condición de que equivalga, mediante comprobaciones terminológicas, a afirmaciones o constataciones directamente perceptibles por nuestros sentidos.

Nada hay que oponer a esta posición de auto-restricción dentro del amplio campo de las Ciencias Naturales, ya que toda transgresión de ella o del límite fijado por ella no es posible sin incluir presupuestos o prejuicios metafísicos. Pero si se afirma que es válida para todos los campos de las Ciencias Humanas, se eleva automáticamente el método positivista a la categoría de doctrina positivista, con lo cual se cae en la aberración ya refutada.

Muy interesante sería la descripción y explicación de cómo se procura eliminar el factor subjetivo en las observaciones científicas y cómo el *realismo moderado* soluciona todos los conflictos. Pero ello nos llevaría muy lejos del propósito que nos anima en el presente trabajo.

Descso.

Si se lograra que los alumnos llegasen en su totalidad a alcanzar el nivel requerido e internacional de asimilación de las materias que cursan en los Centros de Enseñanza Superior, una vez bien dotados, se conseguiría una formación buena que consiste, según la frase célebre de Lord Rutherford, en la fabricación propia de una percha donde se podrá con posterioridad, en el ejercicio de la carrera, colgar las cosas precisas. Se habrá logrado asimismo, que estos graduados pertenezcan a la primera categoría de personas reflejada en el aforismo inglés anónimo: *Great minds discuss ideas, average minds discuss events, small minds people*, o sea, grandes inteligencias discuten ideas, entendimientos corrientes refieren sucesos, pequeñas mentalidades hablan de personas.

Indicación final.

Y ya para terminar esta primera parte, recordemos que un alumno puede ser un excelente hombre de negocios futuro, aun cuando las dotes de entendimiento que posea para las ciencias matemático-naturales sean solamente medianas. Pero recordemos que, si la Naturaleza no le ha dado esas cualidades, un Centro Superior de Estudios no puede suplir esta falta. Esto es lo que afirma el dicho antiguo: *Quod natura non dat, Salamanca non praestat*, la Universidad de Salamanca no puede remediar la carencia de facultades que la Naturaleza no ha dado a un individuo.

II. LA MINERALOGÍA

Obligado parece comenzar esta segunda parte describiendo y dando, si hubiera lugar a ello, la definición de *Mineralogía*.

Mineralogía. Mineral.

La *Mineralogía* es la ciencia que trata de los minerales y comprende el estudio de su origen, crecimiento o desarrollo y decaimiento o descomposición. Estudia, asimismo, las afinidades de los minerales, sus concrecimientos y coexistencia (Paragénesis) y la técnica aplicada a los minerales. Se ocupa de la distribución de los minerales en la Tierra (Geofísica y Geoquímica).

La *etimología* de la voz *mineral* procede de alguna manera, del griego *mina*, que en una de sus acepciones parece indicar «pozo». A ella hay que referir la palabra sustantiva *mina*, neolatina, que también significa «pozo» y el verbo coetáneo *minare* que indica la actividad de sacar cosas por un pozo, equivaliendo así a la actividad minera. La Real Academia de la Lengua Española interpreta la voz «mineral», así: (1) «Dícese de las sustancias inorgánicas y del conjunto de las existentes».—(2) «Dícese del agua de manantial y especialmente de la que contiene en disolución sustancias minerales».—(3) «Sustancia inorgánica que se halla sobre la corteza terrestre o en su interior, y principalmente aquella cuyo beneficio ofrece interés».—(4) «Manantial o principio de las fuentes».—(5) «Parte útil de una explotación minera».—(6) «Origen y fundamento de alguna cosa» (figurado).

De estas diferentes acepciones, es la tercera la que más se aproxima a reunir las condiciones que a continuación exponemos, pues al preguntar qué es un *mineral*, la respuesta no puede aún ser definitiva. Está en elaboración y la Comisión de Nuevos Minerales y Nombres de Minerales de la I. M. A., de la que forma parte el autor, tiene por tarea próxima para el inmediato Congreso Internacional de Copenhague, definir lo que es mineral, especie de mineral y variedad de especie mineral. Lo que se ha convenido hasta el presente es que una sustancia, para ser considerada como mineral, ha de reunir las cuatro condiciones siguientes: 1.^a Ser homogénea (bien en todas las direcciones, o al menos, en direcciones paralelas), desde el punto de vista físico y químico. 2.^a Ser de origen natural. 3.^a Pertenecer a la parte sólida de la corteza terrestre. 4.^a Ser inorgánica.

Por no cumplir con estos cuatro requisitos, muchísimos nombres de sustancias que han sido tenidas por verdaderos minerales, han tenido que ser tachados de la lista de ellos, como puede apreciarse en el vocabulario que, en parte, ha visto la luz del día en las últimas *Notas y Comunicaciones* del Instituto Geológico y Minero de España.

Algunos minerales están constituidos por elementos químicos, por ejemplo, el *mercurio nativo*, el *diamante*, el *grafito*. Pero la mayor parte de ellos están formados por combinaciones de los elementos químicos, por ejemplo, el *cuarzo* SiO_2 , la *ortoclasa* o *feldespato potásico* KAlSi_3O_8 , la *calcita* CaCO_3 .

Son muy pocos los minerales amorfos como el *ópalo* $\text{SiO}_2 + \text{aq}$, la *lechatelierita* SiO_2 , etc. Pero la mayoría de los minerales están cristalizados.

División.

La Mineralogía se divide en dos grandes partes, que son: *Mineralogía General* y *Mineralogía Especial o Descriptiva*. La primera comprende: a) La *crystalogeometría*, que también se denomina *morfología* (macro y micro); b) la *crystalofísica* (estudio de las estructuras de los cristales y de las demás propiedades físicas de los cristales, como son: cohesión, dureza, densidad, propiedades ópticas, etc.); c) la *crystaloquímica y química de los minerales*; d) *génesis de los minerales*; e) *criaderos*; f) *paragénesis de ellos*; y g) la *mineralotecnia*. La segunda parte de la Mineralogía trata de la descripción de cada uno de los minerales.

Importancia.

La *importancia* de los minerales es grande. Es verdad que no toda sustancia que se encuentra en el estado físico sólido es mineral. Necesariamente ha de cumplir con los cuatro requisitos o condiciones que hemos señalado. Mas, la gran mayoría de las sustancias que tienen interés técnico son minerales o están formados por ellos.

Por otra parte, la Naturaleza en la que vivimos se divide en los tres reinos, según el clásico y antiguo reparto: en el reino de los minerales, en el reino de los vegetales, y en el reino de los animales. A ella se refiere la definición escolástica: «*mineralia sunt, plantae sunt et crescunt, animalia sunt, crescunt et sentiunt*», o sea, en la Naturaleza existen minerales, existen plantas, y éstas crecen, y también animales que crecen y sienten. Según esta clasificación, los minerales comprenden no sólo los objetos naturales inorgánicos, sino también los de origen orgánico como son los carbones, etc.

Pero en otro sentido, podemos afirmar que la Mineralogía tiene una importancia grande no sólo como Ciencia Natural pura, sino también porque prepara el fundamento para la investigación dentro del campo de otras ciencias, como son la Petrografía, la de Criaderos, la del Suelo, la Geografía, e incluso, frecuentemente, en la de Ciencias Biológicas. Es ciencia auxiliar poderosa para el químico, para el físico, para el geólogo, para el ingeniero constructor, para los mineros, siderúrgicos y metalúrgicos. En la Agricultura y en la Industria, en general, por ejemplo, en la industria del vidrio y de la porcelana y de refractarios, en una palabra, donde se usan materias primas mineralizadas y donde son sometidas a estudio, sólo el que ha asimilado a fondo la Mineralogía podrá tener éxito en sus informes.

Además, el buen mineralogo, no teniendo más remedio que dominar la cristalografía en sus diferentes aspectos de cristalogeometría, cristalofísica y cristaloquímica, se acostumbrará a referir todas las propiedades fisicoquímicas de los materiales técnicos cristalizados a las partículas en sí y a su distribución en el espacio. De ahí saldrán ideas muy fecundas para el progreso técnico mundial.

Rocas. Petrología.

Los minerales se encuentran en la Naturaleza frecuentemente agregados en estado de agregación y cuando esto sucede en grandes masas, se los considera como *rocas*. Estas pueden ser monominerales, o sea, formadas por granos de un solo mineral, como lo es, por ejemplo, la *caliza* pura (granos de calcita agregados), o bien, poliminerales, como sucede, por ejemplo, con el *granito* (agregado de cuarzo feldespato y mica principalmente).

Pero el estudio de su origen, formación y descompo-

sición compete a otra Ciencia Natural particular, denominada *Petrología*

Reconocimiento.

Nos quedan aún por apuntar dos temas particulares. Uno de ellos es el *reconocimiento de los minerales*. Tres son los procedimientos decisivos generales. El primero, es el *análisis elemental* (de elementos químicos), bien cualitativo o cuantitativo que se realiza, ora por los métodos clásicos químicos y sus simplificados, ora por métodos espectrales ópticos, ora por espectroscopia de Rayos Roentgen. El segundo, basado en los fenómenos que presentan las ondas electro-magnéticas de longitud de onda propia para permitir la visión directa, ofrece la posibilidad de reconocer las especies minerales. El aparato apto para este reconocimiento es el *microscopio petrográfico*. El tercero se funda también en fenómenos propios de las ondas electromagnéticas, pero en este caso la longitud de onda de ellos es mucho más pequeña. Permite la determinación de la estructura del mineral. El aparato apropiado para este reconocimiento se denomina *difractómetro de Rayos Roentgen*.

Este último método tiene grandes ventajas, no sólo para el reconocimiento de los minerales, sino para la técnica en general y sin duda debe ser conocido en su funcionamiento, manejo, aplicación e interpretación de diagramas por los alumnos.

En ningún caso, al menos por ahora, y hablando en líneas generales, se podrá prescindir por completo de uno de estos tres procedimientos. Se complementan uno al otro.

Nomenclatura.

El otro tema particular que deseamos tocar es el de la *nomenclatura* de los minerales. Basta hojear un vocabulario de mineralogía descriptiva para darse cuenta de la barahunda que existe en cuestión de nomenclatura de minerales. Existen nombres que no responden a sustancia alguna conocida, por ejemplo: la *hoernbergita*. Otros nombres inducen a creer que se trata de un mineral que contiene un elemento químico determinado y no lo contienen, como sucede, por ejemplo, con la *cincquenita*, cuya composición es $PbS Sb_2 S_3$ que no contiene Zn. Gran número de nombres de «pseudominerales» designan mezclas tan sólo y, sin género de duda, no son minerales, por faltarles la condición necesaria de homogeneidad. Por no excedernos en el número de páginas asignado, nos referiremos a lo dicho en el prólogo del referido vocabulario de Mineralogía Descriptiva, publicado por el Instituto Geológico y Minero de España recientemente.

Consideraciones físico-químicas.

Una vez que ya hemos dado las nociones más importantes y tocado algunos temas particulares más sobresalientes de la Mineralogía, deseáramos dar algunas ideas generales acerca de lo que podríamos llamar *subestado sólido cristalino*, y de la génesis de minerales en general, que tanta importancia tienen en la comprensión de lo que es un cristal y de cómo se engendra.

Comenzaremos haciendo algunas consideraciones pertenecientes a la Físico-Química.

Estados físicos de la materia.

Como síntesis de lo que se observa en el mundo material, existen dos *tendencias fundamentales*, una de atracción (eléctrica, gravitatoria), otra de repulsión (eléctrica, electromagnética, etc). En líneas generales, como ejemplos de la primera tendencia, se pueden citar las fuerzas que actúan en el interior de los átomos (núcleo y electrones) y en el edificio estelar del Universo, mientras que representantes de la segunda tendencia son la repartición de la materia en el Universo y la mezcla de sustancias diferentes.

Cada una de estas dos tendencias reina, con exclusión de la otra, sólo en dos estados físicos extremos de la materia. El primer estado se verifica cuando existe una temperatura y enrarecimiento proporcionado y las partículas materiales se mueven prácticamente independientemente unas de las otras, sin existir influjo esencial mutuo entre las partículas (a excepción de choques directos o indirectos ocasionales). Este estado constituye el *estado gaseoso ideal*. El segundo estado físico de la materia se da cuando cada partícula ocupa una posición totalmente determinada por las ubicaciones correspondientes a las partículas vecinas. Ofrecen todas las partículas una ordenación en el espacio y una ocupación determinada de volumen en un espacio conocido, con el empaquetamiento más denso posible. Es el estado *sólido cristalino ideal*.

Este último estado extremo físico se ve realizado aproximadamente a veces en la Naturaleza, como veremos más adelante, mientras que el estado gaseoso ideal es un límite más o menos asintótico, al que se puede aproximar la materia gaseosa.

Los estados reales en los que se encuentra la materia, por lo común, se encuentran comprendidos entre estos dos

estados límites, y la medida del desorden de las partículas referida al estado sólido cristalino ideal está relacionado con una magnitud termodinámica, llamada *entropía*, que puede ser calculada por varios métodos, entre ellos, el del cálculo de probabilidades.

Ante la imposibilidad de extendernos en este tema tan interesante, nos ha parecido mejor insistir en las propiedades que presentan los tres estados clásicos de la materia: gaseoso, líquido y sólido, haciendo resaltar las características estructurales de ellos.

Desde el punto de vista estructural, *la materia en estado gaseoso* se caracteriza por estar constituida por partículas (átomos o moléculas) totalmente independientes unas de otras, si se prescinde de los choques ocasionales directos o indirectos. En este hecho se funda la facultad que poseen los gases de expansión ilimitada y que obedezcan con cierta aproximación a la ley que rige los gases perfectos, $PV = nRT$. La energía cinética de las partículas es grande y muy superior a las fuerzas de atracción mutuas. En cambio, *la materia en estado líquido* presenta a sus partículas actuando las unas sobre las otras, ejerciéndose por consecuencia, atracciones mutuas. Las distancias que separan a las partículas unas de las otras, son muy pequeñas, de suerte que se las puede considerar como en contacto, atraídas por las fuerzas de atracción mutua. Este fenómeno es la causa de la conservación del volumen constante de un líquido cuando se le vierte de un recipiente en otro. Pero las fuerzas de atracción mutua no son suficientemente fuertes para conservar la unión de las partículas permanentemente. La fuerza térmica que mantiene en agitación continua a las partículas (energía cinética de ellas), se basta para romper con gran frecuencia la unión de enlace de ellas, establecida por las fuerzas atractivas. En síntesis, un líquido se ca-

racteriza desde el punto de vista estructural por tener sus partículas en contacto a causa de fuerzas atractivas, pero el enlace no tiene energía suficiente para hacer frente permanentemente a las fuerzas térmicas que agitan de continuo las partículas, rompiéndose así, con mucha frecuencia, la unión de ellas.

Por fin, cuando las fuerzas térmicas son inferiores a las fuerzas atractivas que unen las partículas entre sí, pasa *la materia al estado sólido*. Pero en éste, estructuralmente, se deben distinguir dos *subestados*. La razón puede explicarse así: Al ceder en intensidad las fuerzas de carácter térmico, prevalecen las fuerzas de atracción de las partículas materiales constituyentes de la materia. Estas fuerzas atractivas pueden asociar las partículas unidas ya de modo permanente unas con otras, adoptando la materia una rigidez debida a la cohesión de las partículas constituyentes unidas. La distribución espacial de las partículas será desordenada inicialmente en su conjunto. Pero debido a que la ordenación espacial de ellas constituye un estado físico de menor energía que la desordenada, ésta tiende así necesariamente a la distribución ordenada espacial al procurar el estado de mínima energía. Este estado es precisamente el *subestado sólido cristalino de la materia*, mientras que el estado en que las partículas se encuentran distribuidas desordenadamente en el espacio, constituye un paso del estado líquido al estado cristalino. Es el *subestado sólido amorfo*.

Así pues, entre el gas ideal, estado en el cual las partículas tienen libertad absoluta y el sólido cristalizado ideal, en el cual las partículas están totalmente ligadas las unas a las otras, existen estados de paso o formas de transición que reciben el nombre de gases no ideales, líquidos y cuerpos sólidos no ideales (amorfo). En este orden transcrito, las fuerzas de atracción van creciendo, la

energía cinética de las partículas y con ello su movilidad disminuye, y crece la ordenación espacial de dichas partículas.

El hablar y querer fijar los límites de los estados intermedios no es tarea fácil. Especialmente, la diferencia entre el estado sólido y líquido, aún cuando prácticamente no origina dudas, no es fácil de precisar teóricamente, debido a la existencia del subestado sólido amorfo y de los líquidos cristalinos. Además, los movimientos existentes en los retículos cristalinos inducen a pensar que existen asimismo fusiones parciales de esos retículos. El hecho es que en el estado líquido se prepara ya la ordenación de las partículas constituyentes, que es característica del estado sólido cristalizado y así dificulta el establecer fronteras precisas. También ofrece dificultad fijar un límite definido entre el estado gaseoso y el estado líquido, pero esta dificultad es de más fácil solución que en el anterior caso, como puede cerciorarse quien desee comparar las propiedades físicas de la materia en uno y otro estado.

Grupos espaciales, puntuales y sistemas cristalinos.

Una vez expuesto cómo las partículas sillares de los cuerpos cristalizados se encuentran situadas según orientaciones determinadas en el espacio, como efecto de un equilibrio físico-químico de fuerzas que actúan sobre ellas y bajo el imperativo de la mínima energía potencial del sistema o conjunto, cabe preguntar cuáles y cuántas son las ordenaciones posibles de las partículas sillares en el espacio tridimensional. A esta pregunta ya respondieron Schoenflies y Federow casi simultánea pero independientemente en 1891 y 1892, afirmando que existen ciertas ordenaciones que se llaman *grupos espaciales*,

siendo su número el de 230 ordenaciones distintas. La base de discriminación de estas 230 ordenaciones espaciales diferentes consiste en la diversa agrupación de los elementos de simetría simples y compuestos que ofrecen al ser examinadas. La deducción matemática de los 230 grupos espaciales se puede realizar con cierta rapidez y elegancia mediante la teoría matemática de conjuntos, pero primeramente fueron descubiertos por los sabios anteriormente citados, mediante paciente, larga y pesada combinación de elementos de simetría permitidos en la Naturaleza.

La comprobación de la existencia de tales grupos espaciales no pudo realizarse hasta años después, una vez que Laue, en 1912, y sus ayudantes Friedrich y Knipping demostraron la difracción de los rayos Roentgen con ayuda de una ordenación espacial de partículas, o sea un cristal.

Por la sistematización de los elementos de simetría contenidos en estos 230 grupos espaciales se obtienen los 32 *grupos puntuales* o clases de simetría que son observables macroscópicamente y dieron lugar a la mineralogía clásica geométrica que se encuentra aún en las obras corrientes de Mineralogía.

Estas 32 clases de simetría se agrupan a su vez en seis o siete *sistemas cristalinos*, según que los grupos puntuales en la versión de siete sistemas forman el sistema trigonal, se engloben en el sistema exagonal o no.

Desde el punto de vista de la Cristalogeometría, todas las ordenaciones espaciales de las partículas que pertenecen a la materia cristalizada están perfectamente catalogadas en función de sus elementos de simetría simple (eje, centro de simetría, plano), compuesto (eje rotoreflectores y rotoinversores) y la translación elemental que combinada con los anteriores, da lugar a los ele-

mentos de simetría complejos (ejes helicoidales y planos de reflexión deslizante) y de la ubicación espacial relativa de estos elementos.

Un ejemplo centrará la atención en los hechos que hemos venido refiriendo. Consideremos de momento al elemento químico número 26 de orden de la tabla periódica de los elementos, que es el hierro. A temperaturas superiores a 2.740 °C y a la presión ordinaria, el hierro se encuentra en estado gaseoso. Las partículas de este gas están en movimiento continuo y poseen una energía cinética considerable. A medida que la temperatura va descendiendo, esta energía va disminuyendo, haciéndose ya mayor la energía de las fuerzas atractivas. Al llegar a la temperatura de 2.740 °C, el gas de partículas de hierro se comienza a licuar. Las fuerzas de atracción van superando a las fuerzas dispersivas térmicas y las partículas de hierro se encuentran prácticamente casi en contacto. Pero las uniones de ellas aún son endebles y son destruidas continuamente por otras partículas que tienen momentáneamente mayor energía térmica. Pero a partir de 1.539 °C prevalecen ya las fuerzas atractivas y los enlaces o uniones de las partículas son suficientemente fuertes para ser estables. La orientación en el espacio de partículas enlazadas es fija y determinada, y es función de las propias partículas y de las demás condiciones físico-químicas existentes. El hierro ya en el estado cristalino sólido adopta una ordenación espacial de sus partículas, determinada que corresponde al grupo espacial $Im\bar{3}m$ perteneciente al sistema cúbico y es del tipo estructural del α -Fe, pero con parámetro elemental $a_0 = 2,92 \text{ \AA}$. Es la fase δ del hierro metálico de los metalógrafos.

Al disminuir la temperatura, las partículas elementales del hierro disminuyen su movimiento dentro de su estructura y ésta se hace inestable, pasando a una ordenación

nueva dentro del subestado cristalino sólido, que pertenece al grupo espacial $Fm\bar{3}m$, también correspondiente al sistema cúbico, del tipo de estructura del Cu, de caras centradas y con el parámetro elemental $a_0 = 3,63 \text{ \AA}$. Es la fase γ del hierro.

Pero tampoco encuentra un equilibrio estable esta estructura al ir disminuyendo la temperatura. Al llegar a los 800° aproximadamente, sin cambio de estructura, existe un reajuste de bloques dentro del tipo de estructura del hierro. El hierro adquiere propiedades magnéticas y son las zonas Weiss las que especialmente dan cuenta de su poder magnético.

Al llegar la temperatura a unos 785° se hace completamente inestable la estructura anterior y se orientan nuevamente las partículas dentro del estado cristalino sólido, adoptando esta vez una estructura similar a la del hierro δ , grupo espacial $Im\bar{3}m$, pero con parámetro elemental $a_0 = 2,86 \text{ \AA}$, algo inferior a la del hierro δ . Esta estructura, fase α -- Fe, es estable a bajas temperaturas. Las partículas del hierro metálico han encontrado su equilibrio estable.

La explicación de estos hechos y su recta explicación energética (hasta donde se ha llegado hoy en día), nos llevaría demasiado lejos, ya que encierra en sí fenómenos de polimorfismo algo complejos (magnetismo).

En el ejemplo anterior del hierro hemos visto que a la temperatura de 1.539 °C., el lecho en fusión de hierro líquido súbitamente comienza a cristalizar, a solidificarse. ¿Qué es lo que ha sucedido? La contestación superficial es sencilla. Se han formado «gérmenes», o sea, grupos de partículas, en las que la atracción mutua ya supera a los embates de partículas de energía térmico-cinética inferior a la de enlace de las partículas agrupadas en lo que se denomina «germen». Estos gérmenes van

creciendo y desarrollándose, y al ir descendiendo la temperatura, todo el lecho en fusión se solidifica cristalizando. Al desear conocer más profundamente el mecanismo de la solidificación tropezamos con bastantes dificultades

Aún son mayores éstas al inquirir acerca de la formación de minerales en general. Vamos, a continuación, a dar una síntesis explicativa de la formación de minerales en la Naturaleza.

La formación de los minerales en la Naturaleza.

1) *Los principales procesos de la formación.*—Aun cuando los mineralogos han ido recogiendo ingentes cantidades de material y han caracterizado, desde el punto de vista cristalogeométrico, cristalofísico y cristalquímico, muchas especies minerales, y han procurado explicar del mejor modo posible la génesis de ellos, el resultado total, sin embargo, de estas investigaciones, nos presentan una imagen aún bastante incompleta de la realidad natural, del proceso seguido en la Naturaleza.

Sabemos que en la Naturaleza los minerales se originan de muy diversas maneras. El espacio donde se forman puede tener dimensiones grandiosas y la cantidad de elementos químicos de libre disposición puede ser enorme o, por el contrario, puede ser reducidísimo. Ejemplo de este último caso lo representa la formación de cobre nativo en el mango de madera de encina de un pico romano encontrado en unas labores minerales de calcopirita en la provincia de Huelva.

Influye notablemente en la formación de los minerales en el seno de la Naturaleza el factor tiempo. Millones de años es una unidad corriente en la medición del tiempo mineralogénico, aun cuando en condiciones favorables puedan bastar horas, minutos y segundos para la

formación de un mineral. Junto con este factor actúan otros como son la temperatura y la presión, y sus variaciones más o menos bruscas, como también la concentración de elementos químicos presentes.

Muchos de los minerales se generan a profundidades considerables dentro de la corteza terrestre, por ejemplo, los minerales que componen el granito holocristalino; otros en cambio se forman en la hidrosfera, por ejemplo, la calcita de los arrecifes calcáreos, otros en la atmósfera en su parte fronteriza con la superficie terrestre: los carbonatos hidratados de cobre. Pero, en general, estamos obligados a enjuiciar estos procesos de formación de minerales a base de conclusiones indirectas.

Es obvio que lograremos entender algunos de estos fenómenos; otros, quizá los más, quedarán durante mucho tiempo aún en el abismo de nuestra ignorancia. Recordemos tan sólo los minerales de algunas rocas metamórficas, tan difíciles de explicar.

De cuanto se ha logrado penetrar dentro de los secretos de la Naturaleza, podemos deducir a grandes rasgos que la Naturaleza sigue varios caminos principales en la formación de los minerales.

Estos procesos de formación de minerales podemos sintetizarlos en la forma siguiente:

- a) Formación de minerales partiendo de lechos en fusión.
- b) Formación de minerales partiendo de disoluciones o suspensiones en medios fluidos (gaseosos o líquidos, a temperaturas y presiones variables y que ocupan gran extensión).
- c) Formación de minerales partiendo de minerales ya existentes por transformación, por metamorfosis.

No están estos tres diferentes procesos privilegiados, aislados y separados entre sí. Por el contrario, existen

transiciones continuas de unos a otros, de suerte, que pueden llevar al ánimo del investigador una confusión. Este ha de considerar toda clase de detalles que le ofrece el caso particular estudiado, evitando con sumo cuidado confundir lo esencial con lo accidental en cada caso concreto. De lo contrario, se perderá irremisiblemente en la selva virgen o intrincada de los fenómenos que presenta la Naturaleza a cada paso. Un ejemplo de ellos, que puede servir de botón de muestra, lo tenemos al estudiar las estructuras mirméticas de los minerales que pueden ser originados, por lo menos, por seis causas distintas.

Los procesos que acabamos de reseñar no son los únicos formativos de minerales. La Naturaleza tiene otros y variados caminos para generar minerales. Para nuestro intento nos bastan los indicados.

Vamos ahora a considerar la génesis y el crecimiento de un mineral concreto, escogiendo los casos más sencillos y de mayor facilidad en la exposición.

2) *Génesis y crecimiento de un mineral en una solución.*—Una especie mineral, por ejemplo el cristal de cuarzo, es algo que ha sido engendrado y ha crecido hasta tener las dimensiones y forma que admiramos. No nos contentamos con saber la constitución de un mineral sólido y cristalizado, sino que queremos conocer cómo se ha formado.

Tenemos que reconocer nuestra ignorancia actual acerca del proceso. Es cierto que estamos en condiciones de observar, ayudados de un microscopio, cómo cristaliza una disolución sobresaturada, pero lo que se ve, generalmente, es un cristal ya acabado, aunque muy diminuto, y que presenta ya todas sus propiedades. Posee ya una marcada individualidad. Raras veces se nos presentan formas que podrían recordarnos un «germen». Poseen, por lo común, configuraciones diversas, presen-

tándose a manera de pequeñas esferitas, bastoncitos o ramificaciones esqueléticas. Pero todas ellas no son sino estructuras que han sufrido estorbos en su libre crecimiento y, por ello, no se pueden considerar en rigor como gérmenes cristalinos, ya que constan de una distribución ordenada espacial y cuentan ya con millones de sillares. Podemos así afirmar, que la hora del nacimiento de los cristales se encuentran aún en un profundo misterio y no lo conocemos. Sólo los vislumbramos desde un punto de vista teórico, como se ha visto en el caso del hierro anteriormente citado.

En el crecimiento posterior al nacimiento, tenemos que considerar dos factores principales: la *disposición interna* y el *medio ambiente*. El primero es expresión de la tendencia natural a lograr en su sistema un equilibrio físico-químico, inherente al individuo mineral que cristaliza. El segundo factor representa la misma tendencia, pero en él intervienen ya uno o varios componentes más. El sistema se ha complicado.

Es bien sabido que el crecimiento se verifica adosándose a cada superficie o cara cristalográfica una nueva capa paralela de la misma sustancia que cristaliza. Las zonas cristalográficas, los ángulos que forman las caras, etc., todo permanece igual. Este hecho se explica mediante una traslación paralela de las caras individuales del cristal. Este fenómeno queda también comprobado por la estructura zonar que ofrecen bastantes cristales y que se puede conseguir artificialmente.

Crecen, pues, los cristales por aposición o yuxtaposición de materia en contraposición de los seres vivientes, en los cuales, se realiza por intususcepción. N. Steno ya hizo esta observación en 1669.

Las fuerzas que efectúan el aporte de sustancia que hacen crecer al cristal son de naturaleza compleja. La

hipótesis, corriente en el siglo pasado, es que los cristales están dotados de fuerzas atractivas que actúan a cierta distancia y aseguran el aporte de materia.

No puede mantenerse, empero, esta hipótesis después que la Química Coloidal ha demostrado que estas fuerzas tan sólo actúan en las proximidades inmediatas a las moléculas. Se supuso, a continuación, que se trataría de corrientes de convección dentro de la disolución. Tampoco satisface completamente esta hipótesis, ya que la Hidrodinámica muestra que el cristal está rodeado por una capa-envoltura líquida adherida a él. Las corrientes de convección existentes, únicamente pueden transportar la materia necesaria al crecimiento del cristal hasta esta capa-envoltura. A través de ella, ha de verificarse el transporte mediante fuerzas difusivas. La capa-envoltura tiene un espesor variable en cada clase de caras y suele oscilar entre 20 — 120 μ . Es posible que en ella exista ya cierta ordenación de partículas, que facilite el encajamiento posterior dentro de la estructura correspondiente al cristal.

La fuerza configurativa natural, que es causa de la forma externa de los cristales, produce fenómenos interesantes que, considerados desde un punto de vista analítico-estadístico, pueden ser interpretados hasta cierto grado. Mas tampoco hemos sobrepasado en este punto las primeras interpretaciones someras. Consideremos por unos instantes los hermosos ejemplares escalenoédricos de la calcita de los Picos de Europa y los clásicos romboedros de la misma calcita (espato de Islandia) de Dimas (Vizcaya). ¿Por qué son esas las combinaciones elegidas allí entre más de doscientas combinaciones naturales conocidas de la calcita?

Para caracterizar morfológicamente un mineral cristalizado, se han creado dos conceptos: el de *facies* y el

de *habitus*. *Facies* expresa la totalidad de las caras existentes en un cristal, o sea, la forma o la clase de combinación. Es en cierto sentido, el traje del cristal, por ejemplo, las formas simples: cubo y octaedro en el sistema cúbico, o las combinaciones: prisma + pirámide + pinacoide en sistema rómbico, etc. El *habitus*, por el contrario, caracteriza las relaciones de desarrollo de cada cara individual y así la forma total, por ejemplo, si es acicular, tabular, hojoso, etc.

La facies, generalmente, depende del medio en que se ha desarrollado el mineral cristalizado. Debido a esto, en casos determinados, el especialista está capacitado para indicar el criadero de origen de una muestra, de una especie mineral determinada.

Es conocida la causa de esta variación de facies. Si a una disolución pura de cloruro sódico se le añade urea, en lugar de cristalizar el cloruro sódico con facies cúbica, lo realiza con facies octaédrica. El motivo está, en este caso, en los compañeros de disolución. En otros casos actúa la temperatura. Así, por ejemplo, el yodato de potasio KIO_3 cristaliza a la temperatura de 10° en cubos, a los 20° en una combinación del cubo con el rombododecaedro, a los 70° en rombododecaedros. También existen otras causas aún no bien conocidas, que actúan sobre la facies de cristalización.

El motivo del predominio de unas caras sobre otras, desde un punto de vista puramente geométrico, no es difícil de explicar. La cara de crecimiento lento perdura, la de crecimiento rápido desaparece.

Si queremos investigar cuáles son las caras que crecen más lentamente y, por el contrario, cuáles son las de mayor velocidad de crecimiento, tenemos que responder que aún no lo sabemos.

El medio, en el cual crecen cristales a partir de gér-

menes, también influye en su desarrollo, como lo pone de manifiesto el poder aumentar o reducir el número de gérmenes en la disolución por medio de adiciones a ella de determinadas sustancias (por ejemplo, colorantes). Comúnmente bastan muy pequeñas adiciones (de unas centésimas por ciento).

El trabajo que se lleva a efecto durante el desarrollo o crecimiento de un cristal es grande. En condiciones especiales se ha podido conseguir que cada segundo se deposite sobre la cara del cubo de un cristal de cloro sódico un plano reticular de NaCl.

Ha de tenerse presente que escogiendo un cubo de un centímetro de longitud de arista, sobre la cara del cubo en un solo plano reticular se han de ordenar $4 \cdot 10^{14}$ iones. Además, frecuentemente, crecen los cristales depositando varios e incluso cientos de planos reticulares por segundo.

No es raro que teniendo en cuenta el gran número de sillares que afluyen a la superficie del cristal y que han de ser ordenados en corto espacio de tiempo, es casi imposible evitar que algunos sillares ocupen sitios que no les corresponden o que partículas o sillares extraños sean arrastrados dentro de la estructura cristalina. Tales «fallos de construcción» existen en la estructura de todo cristal *real* en contraposición del cristal *ideal* o matemático. Únicamente falta, casi por completo, esos defectos, cuando la velocidad de crecimiento ha sido muy pequeña, acercándose el cristal real al cristal ideal.

Al formarse un cristal aislado, suspenso en medio de una disolución, se desarrollan sus caras libremente en toda dirección. Forma un cristal idiomorfo o automorfo, o sea, de forma propia. Caras equivalentes de este cristal tienen iguales dimensiones, igual distancia central. Cuando el cristal no puede crecer libremente (corrientes en la di-

solución, el germen asentado sobre una pared del recipiente, etc.), su limitación exterior es alotriomorfa o xenomorfa, o sea, de forma ajena.

También se puede dar el caso de cristalización muy rápida. El cristal crece a lo largo de las aristas y de los vértices, ya que son de más fácil aposición de la nueva sustancia que las caras del cristal; de esta suerte se engendran los *esqueletos* de cristales, de formas muy variadas. Cuando tienen aspecto arborescente, reciben el nombre de *dendritas*.

Se denomina *regeneración* a la sanación o recobro de un cristal fracturado. Un ejemplo que aclare la definición puede ser el siguiente: Al truncar uno de los vértices de un octaedro de alumbre, y situándolo nuevamente dentro de la disolución madre, la parte fracturada crece más rápidamente que la parte sana, hasta tanto que se ha logrado restablecer la forma del octaedro.

El crecimiento de un cristal es indefinido. Se termina por falta de materia aportada, por variaciones de temperatura, presión, concentración, etc., y por no tener espacio suficiente. Esta última dificultad la tratará de vencer, como ocurre con el agua que se congela.

3) *Crecimiento de minerales estando presentes multitud de gérmenes.*—Hasta el presente, hemos silenciado la presencia de otros gérmenes y nos hemos fijado principalmente en lo que le sucede a un solo germen. Hora es ya de considerar el caso general en el cual coexisten multitud de gérmenes.

No es necesario insistir que de ser escasos los gérmenes y estar muy distanciados entre sí, se desarrollarán como si estuviesen aislados. Pero el caso más frecuente será el contrario, o sea, que los gérmenes sean muchos y que se estorben mutuamente en su crecimiento. El re-

sultado será un agregado de granos cristalinos alotriomorfos de iguales o parecidas dimensiones, en el caso que la velocidad de cristalización de los granos individuales sea similar. En este caso se obtiene un agregado holocristalino. Pero bien puede suceder que algunos granos cristalinos hayan crecido más rápidamente que los demás, habiéndose desarrollado casi sin ser estorbados durante este proceso por los otros granos. En este caso, se obtendrá un agregado heterocristalino.

Conveniente es distinguir enseguida dos grupos: los gérmenes son de igual naturaleza química o son de diferente naturaleza química.

A) *Gérmenes de igual naturaleza química.*—Este caso se realiza con cierta frecuencia en la naturaleza, aun cuando en menor grado que el otro.

Bastará citar entre las rocas monominerales a las calizas, las areniscas y cuarcitas puras. Entre los minerales, si prescindimos de las casi constantes impurezas que contienen, señalaremos las piritas, ciertas magnetitas y oligistos puros, etc.

Es de interés recordar aquí algunas *deformaciones reticulares*.

Fuera y aparte del defecto de construcción, del cual hemos hablado recientemente, al desarrollarse simultáneamente varios gérmenes pueden dar lugar a otros defectos. Estos pueden ser, por ejemplo, las llamadas «estructuras en mosaico» y las «estructuras con huecos».

La estructura en mosaico se origina al agregarse varios cristales pequeños durante el período de desarrollo, llegando a tocarse e incluso a concrecer juntamente. Muy poca probabilidad existe en que se adosen los cristales en orientaciones paralelas. Lo más frecuente será que las principales direcciones cristalográficas de los diferentes

gérmenes se corten. En estos casos se engendra la *estructura en mosaico*. En ella, los diferentes bloques cristalinos tienen orientación diferente. Estas pequeñas diferencias en la fase inicial del crecimiento del cristal traen consigo defectos mayores una vez que el desarrollo se va llevando a cabo. Se originan huecos, grietas, etc., y se produce lo que se llama la *estructura con huecos*.

Muchos son los cristales en los que a simple vista se aprecian distintos bloques cristalinos, que están desplazados los unos con respecto a los otros. Aun en cristales bien formados de halita (sal gema), valen los desplazamientos hasta unos minutos, en las caras del cubo.

Los desórdenes producidos por defectos en la arquitectura, que acabamos de exponer, pueden poseer cierta ordenación interior. Las investigaciones roentgenográficas han puesto de manifiesto, en casos particulares, que los bloques cristalinos están girados en una dirección determinada y privilegiada. Estas direcciones corresponden a filas reticulares de gran densidad.

Los defectos de construcción reticular físicos y químicos ejercen sobre algunas propiedades físicas un influjo notable, por ejemplo, sobre la coherencia, color, luminiscencia, etc.

Muy interesante y en parte muy importante desde el punto de vista técnico, es el fenómeno que se denomina *cristalización conjunta*, que se observa en materiales sólidos; por ejemplo, al calentar un trozo de un metal (que es un agregado de granos cristalinos), pueden los átomos cambiar sus posiciones. El efecto consecuente es una recristalización, en la que los granos cristalinos más grandes crecen a expensas de los menores, que desaparecen. Es lo que se procura conseguir mediante el trabajo en caliente de trozos de metales. En la naturaleza se verifica este proceso durante los fenómenos de metamorfismo.

La caliza de grano fino se convierte en mármol de grano grueso.

B) *Gérmens de distinta naturaleza química.* - Es el caso más general que nos presenta la Naturaleza y el que se encuentra en la metalurgia actual.

Ejemplos existen en profusión. Prácticamente todas las rocas ígneas, muchas sedimentarias, y la gran mayoría de las rocas metamórficas.

En el caso que existan granos cristalinos de diferente composición química, en contacto mutuo, es posible que al aumentar la temperatura puedan entrar en reacción. En estos casos se forman nuevas especies minerales a lo largo de estos contactos. Se llama este fenómeno *reacción en estado sólido*. Ejemplos de este fenómeno se encuentran en la técnica y sobre todo en la Naturaleza (metamorfismo general y especialmente de contacto). También señalamos todas las menas en cuanto no prescindimos de las impurezas singenéticas, aunque estén en muy exigua proporción, y especialmente las menas complejas.

Al considerar detenidamente algunos de estos agregados, rocas o minerales, se observan ciertas diferencias de tiempo en la formación. Existen algunas especies minerales cuyos granos se han formado antes que los correspondientes a los de otros. Existe, pues, una sucesión en la cristalización de esas especies minerales. Partiendo del principio de que todo efecto tiene una causa, se ha buscado ésta y en algunos casos concretos se ha podido comprobar. Es, sin embargo, necesario exponer antes algunas nociones más.

4) *Ley que regula la sucesión de cristalización.*— Consideremos un hecho en fusión o disolución natural de composición algo compleja, en la que están presentes va-

rios elementos químicos, de suerte, que al vaporizarse o enfriarse, pueden segregarse varias especies minerales. Estamos en condiciones de poder predecir la sucesión de las especies minerales segregadas dentro de ciertos límites con auxilio de la *energía reticular*. Entendemos por energía reticular expresada en Kcal/mol, la energía en Kcal, que queda liberada durante la formación de un mol (peso de la fórmula en gramos) de una sustancia cristalizada, en el supuesto que las partículas sillares constitutivas se encuentran, en la fase inicial, totalmente separadas unas de otras. En el caso del cloruro sódico NaCl, las partículas sillares son los iones de sodio y cloro y vale 98 Kcal/mol.

Podemos dar una descripción de la energía reticular. Cuando una sustancia determinada se encuentra en un lecho en fusión o en una disolución, la energía libre o bien la movilidad de las partículas-sillares es grande. Una vez cristalizada la sustancia, la energía es pequeña. El caudal de energía libre se ha gastado en formar la estructura de la sustancia cristalizada. A la inversa, es necesario emplear cierta cantidad de energía para destruir una estructura cristalina y liberar por completo las partículas-sillares que la forman. Esta energía empleada es lo que llamamos energía reticular.

La energía reticular se compone de varios sumandos que son característicos para cada elemento, que han sido denominados coeficientes de energía por Fersman. Representan la parte de energía reticular que cada partícula-sillar (átomo, ión, etc.), que se encuentra en el infinito, aporta a la constitución de una combinación. Bien es verdad, que hasta el presente se conocen prácticamente tan sólo los coeficientes de energía en combinaciones del tipo NaCl, considerando los iones como esferas rígidas.

Se ha podido deducir que durante la cristalización de un lecho en fusión o una disolución compleja, la sucesión de minerales que se segregan es precisamente aquella que corresponde a una serie de especies minerales de energía reticular decreciente.

Esta deducción nos ha capacitado para *predecir la sucesión de segregación* de especies cristalinas en un lecho en fusión o en una disolución, calculando las energías reticulares de esas especies minerales.

Durante la cristalización de silicatos que se forman al enfriarse un magma, la serie de especies minerales segregadas observada, es la siguiente:

Olivino, piroxenos, anfíboles, biotita, feldespatos, cuarzo, que corresponden precisamente a la de energía reticular decreciente.

De una disolución de iones de *Mo*, *Fe⁺⁺*, *Zn*, *Pb* y *S* se obtiene, conforme a la energía reticular decreciente, la siguiente sucesión: *molibdenita* MoS_2 , *pirita* FeS_2 , *blenda* ZnS y *galenita* PbS , que se puede comprobar frecuentemente en los criaderos naturales.

Nos queda por hacer una pequeña observación. Cuando cristaliza un lecho en fusión, en particular un lecho en fusión de silicatos, se deben considerar dos casos: el de enfriamiento lento y el de enfriamiento rápido. En el primer caso se observa la formación de gérmenes de cristalización en diferentes sitios, que se desarrollan hasta tanto que se solidifica toda la masa fundida. En el segundo caso, la masa se solidifica sin cristalizar, originando una sustancia vítrea amorfa. Estos hechos tienen excepcional importancia en la mineralogía y en la técnica. En concreto, se encuentran en la Naturaleza rocas holocristalinas que se han solidificado por descenso lento de la temperatura, por ejemplo, las rocas ígneas profundas, los granitos. Por el contrario, también se pueden citar ro-

cas vítreas o semivítreas que pertenecen a las rocas efusivas, en las que el enfriamiento se ha efectuado con rapidez.

Es necesario subrayar aquí que no sólo influye el descenso de la temperatura en la rapidez de la solidificación. Especialmente, en el caso de lechos en fusión silicatados naturales, existen siempre, o casi siempre, compuestos volátiles de cloro, fluor, boro, etc., que favorecen la cristalización. Se los designa a éstos con el nombre de *mineralizadores*. Su influjo radica en que disminuyen la viscosidad de los lechos en fusión, hacen variar la polarización de los iones, etc.

Con lo dicho, se podrá ver que nos queda aún mucho por saber, y ciertamente no es una excepción este punto que se ha expuesto con algún mayor detalle.

Pasamos ya a la tercera y última parte.

III. LA ENSEÑANZA DE LA MINERALOGÍA

Con lo dicho en las dos primeras partes del presente trabajo, tenemos amplio material para esbozar lo que debe ser la Enseñanza de la Mineralogía.

Preparación de los alumnos.

Como condición previa para comenzar el estudio de la Mineralogía y tener posibilidad de aprovechar el tiempo que dediquen a su estudio, es conveniente que tengan conocimientos sólidos de Físico-Química (Propiedades de los estados de la materia, las tres leyes fundamentales de la termodinámica, termodinámica química y teoría del equilibrio, electroquímica y cinética química,

fuerzas químicas y constitución de la materia), encuadrado dentro del amplio campo de conocimientos de la Física y Química generales.

Teoría y práctica.

Hemos de disponer de medios suficientes para que la muchedumbre de alumnos que llenan nuestras aulas puedan llevar a la práctica el estudio morfológico de los minerales y el reconocimiento de ellos, llegando a dominar, tanto los métodos antiguos, como los más modernos, y se aficionen a la investigación. A este propósito, referiremos un hecho acaecido el pasado año con motivo del primer Congreso de la I. M. A. en Zurich. El profesor doctor Clifford Frondel, profesor de Mineralogía en la Universidad de Harvard (U. S. A.), fué abordado por el que escribe estas líneas, para darle cuenta de cómo marchaba a la sazón la confección del catálogo de muestras de minerales expuestas en las vitrinas del Museo del Instituto Geológico y Minero de España. Entre otras cosas, se le hizo saber que había unas 180 muestras de cinabrio cristalizado, y que era muy laborioso el fijar los índices de las caras que presentan esos cristales, máxime estando gran parte de ellas macladas. Se puso serio, y al cabo de un rato contestó: «Es trabajo que ocuparía a diez especialistas trabajando durante cinco años». No disponemos de diez especialistas, pero el trabajo hay que hacerlo lo mejor que se pueda, dentro de los límites impuestos por los medios de que se dispone en el momento en cuestión. Así esperamos empezar a sacar el catálogo de las muestras de los minerales de mercurio existentes en los Museos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y del Instituto Geológico y Minero de España dentro del presente año.

Esperamos también que con los medios dados por el Ministerio de Educación Nacional en el presente curso, podamos iniciar en el curso próximo las pruebas de suficiencia con el estudio práctico de muestras (minerales y rocas), siguiéndose después el examen oral.

Con ello, habremos comenzado a dar un paso más en la Enseñanza de la Mineralogía.

J. M.ª RÍOS

RELACION DE LOS PRINCIPALES SONDEOS
PARA INVESTIGACION DE PETROLEOS
LLEVADOS A CABO DESDE 1939 HASTA
MAYO DE 1960

RESUMEN

Este trabajo es una relación de los principales sondeos de investigación de hidrocarburos llevados a cabo en España desde 1958, con expresión sumaria de los resultados. Incluye además un mapa de ubicación de los mismos, y otros de las concesiones de permisos de investigación en la Península y Provincias Africanas.

SUMMARY

This is an exposition of the main drilling operations performed in Spain, since 1958, in the search for oil. A summary account of results is also given. A map illustrates the distribution of the wells all over Spain and some others show the grants of exploration permits in the Peninsula and the African Provinces.

I. INTRODUCCIÓN

Hace un par de años publiqué, en otro tomo de esta misma serie (1), una relación de los principales sondeos llevados a cabo en España, desde 1939, para la investigación de hidrocarburos. Anteriormente, otros autores, y yo

(1) J. M. Ríos: *Relación de los principales sondeos para investigación de petróleo llevados a cabo desde 1939*, N. y C. DEL I. G. y M. DE ESPAÑA, núm. 50, Madrid, 1958.

mismo, se habían ocupado de la recopilación de datos de sondeos anteriores a 1939, recopilaciones que resultan confusas porque la información existente es, muchas veces, incompleta y contradictoria. Quizás empleando mucho tiempo en la investigación de datos se pudiera llegar a una imagen más clara, lo que tendría interés como datos históricos en la investigación de hidrocarburos en nuestro país, pero cuyo contenido práctico sería de escasa utilidad por lo que, hasta ahora, nadie se ha ocupado de ello con el tiempo y detalle que serían necesarios para obtener una recopilación bien documentada. Algunos de estos trabajos se encuentran reseñados en la bibliografía que acompaña a éste.

En cambio, parece que sea de gran utilidad, para la futura investigación de hidrocarburos, y para el conocimiento general de nuestro subsuelo desde el punto de vista geológico, conocer, aunque sea en sus líneas más generales, los resultados de la moderna serie de sondeos, iniciada, con estudios más serios y técnicas más avanzadas, por CAMPSA con el sondeo de Tudanca en 1941.

Así lo consideré al menos, y por eso me ocupé, como una iniciativa particular, de resumir en 1958 los resultados de los sondeos hasta entonces realizados. Ello fué posible gracias a la amable colaboración y facilidades prestadas por las principales Compañías investigadoras ADARO, CAMPSA, CIEPSA y VALDEBRO, que suministraron la información entonces publicada.

La nueva Ley de Hidrocarburos (26 de diciembre de 1958) ha de prestar enorme impulso a su investigación en España, como es hecho de todos conocido, y sus primeros efectos prácticos ya se dejan sentir, no sólo en el número y calidad de Compañías que han solicitado permisos de investigación, sino en la actividad que despliegan montando y organizando los servicios en que se han de

apoyar las actividades investigadoras. La impaciencia pública es grande, y las gentes preguntan cuál sea la razón de que no se hayan multiplicado ya las torres de perforación, por nuestro territorio.

Lo cierto es que no sólo la organización misma de las compañías filiales en España, que han de domiciliarse, montar sus oficinas y transferir o contratar su personal, exige su tiempo, puesto que son organizaciones complejas y costosas, sino que además la prospección por perforación habrá de ir precedida, en la mayor parte de los casos, por campañas de estudios geológicos y geofísicos, que precisen cuáles han de ser las zonas y puntos apropiados para las perforaciones. Mientras tanto, irá viniendo el pesado y complejo material de sondeos, que ha de ser importado y transportado. Todo esto exige tiempo, aun trabajando con la máxima actividad que despliegan las Compañías.

Es posible que pasen todavía bastantes meses en verse montadas las primeras de las nuevas torres de perforación, y más tiempo hará falta para que el impulso alcance su grado máximo.

Todos estamos impacientes, pero sólo algunos nos damos cuenta de que estas etapas han de ser realizadas inevitablemente y de que cada una exige su tiempo.

La intensificación de actividades hará muy difícil que una sola persona, como iniciativa particular, siga recopilando los datos de las nuevas perforaciones. Es de suponer que algún centro oficial, bien sea la Sección de Hidrocarburos de la Dirección General de Minas, o el Instituto Geológico, o ambos en colaboración, o alguna otra dependencia creada al efecto, se ocupe de esta última tarea.

Pero me ha parecido que merecía la pena de acabar la tarea empezada y, no obstante lo fastidioso de estos tra-

bajos de recopilación, me propuse hacer empalmar mi anterior relación, con la futura iniciación de una recopilación oficial.

De nuevo solicité la colaboración de las diversas Compañías, y todas ellas la han prestado amable y generosamente, a conciencia de que así contribuyen al anhelado fin común: la localización de hidrocarburos en nuestro subsuelo, susceptibles de explotación provechosa.

Es un placer para mí y un deber de gratitud, expresar mi agradecimiento a las Compañías ADARO, CAMPSA, CIEPSA, COMP. PETR. IBERICA, y VALDEBRO, que han hecho posible la publicación de estos datos.

Expreso también mi agradecimiento a la Sección de Hidrocarburos de la Dirección General de Minas y Combustibles por las facilidades dadas para la publicación de los mapas de permisos de investigación (concedidos hasta el 20 de mayo de 1960), que figuran al fin de estos datos.

Es difícil que en una recopilación de esta clase no aparezcan discrepancias, por errata. Consciente de la confusión que estas erratas crearían, he procurado afinar al máximo en la comprobación y corrección de datos. Sin duda, que algún error escapará, y pido por ellos disculpa.

Los datos expresados proceden todos ellos directamente de las Compañías que han llevado a cabo las perforaciones.

El mapa de ubicación de los sondeos es sólo aproximado y se ofrece a modo de orientación general. Pero en vista del interés manifestado por una localización más exacta de los sondeos, se ha completado esta relación con la expresión de las coordenadas geográficas (long. y lat.) de la mayor parte de las perforaciones.

El orden aplicado a la nueva relación de sondeos es correlativo con el anterior, y como él, se apoya en el orden

cronológico de comienzo de la perforación. Así, cada perforación tiene dos designaciones (numeraciones), una la de la clasificación general, otra la de orden dentro de las perforaciones de cada Compañía.

No se han repetido los datos de detalle de las perforaciones ya completadas en 1958, que se pueden encontrar en la relación anterior, pero sí se publican aquí, completos, los de las que entonces estaban en marcha. Pero las relaciones resumidas, conjuntas, aparecen completas desde el sondeo de Tudanca. Se ha uniformado la expresión de los datos para mayor comodidad de consulta.

La incorporación de datos nuevos dentro de la serie antigua, ha hecho necesaria la repetición de números de orden que se distinguen por las designaciones primas. Igualmente las de los datos de COMP. PETR. IBERICA, que por razones ajenas a su voluntad llegaron con retraso, cuando se había compuesto ya la relación general.

Espero que esta relación sea de utilidad, porque en esta utilidad reside la única compensación y justificación para el pesado trabajo de recogida y ordenación, preparación y comprobación de datos.

II. RELACIÓN DE RESULTADOS DE LOS SONDEOS

22. Ecija (1954-1955) (ADARO, núm. 5).— Situado en la localidad de Ecija (Sevilla). Comenzó el 18 de diciembre de 1954, y terminó el 22 de febrero de 1955 a la profundidad de 353.70 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0-70 m. Margas verdosas con un tramo más arenoso del Mioceno.
- 70-118 m. Margas verdosas y grises, más o menos arenosas, del Mioceno.

- 118-136 m. Margas grises del Mioceno.
 136-318 m. Margas grises y verdosas, que alguna vez son algo arenosas, con un horizonte de arenas (240-241 m.), del Mioceno.
 318-353,70 m. Alternancias de margas verdosas, margas arenosas, arenas y areniscas.

Esta perforación cortó *gases* a 353,50 metros con 25 Kcm² de presión.

29'. Villalba del Alcor (1956) (ADARO, núm. 7').

Situado en la localidad de Villalba del Alcor (Huelva). Comenzó la perforación el 28 de julio de 1956, y terminó el 13 de septiembre del mismo año, a la profundidad de 210,20 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-169 m. Arcillas grises y azules, del Mioceno.
 169-201 m. Arcillas arenosas, areniscas arcillosas, areniscas y arenas, del Mioceno.
 201-210,20 m. Pizarras paleozoicas que en la base tienen mucho cuarzo.

29". Elvira, 1 (1956) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 1).—Situado en el borde del diapiro de Orduña (Vizcaya), pero en la provincia de Alava. Comenzó la perforación el 16 de agosto de 1956, y terminó el 28 del mismo mes a profundidad de 140,5 metros. Practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-8 m. Cantos rodados, del Cuaternario.
 8-118 m. Arcillas rojas, con yeso, predominantes del Keuper.
 118 m. Borde del diapiro.
 118-140,5 m. Calizas y margas, del Cenomanense.

29"' Elvira, 2 a (1956) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 2).—Situado en el borde del diapiro de Orduña, en Alava. Comenzó la perforación el 1 de septiembre de 1956, y terminó el 13 del mismo mes a profundidad de 171,8 me-

tros. Practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-25 m. Cantos rodados, del Cuaternario.
 25-171,8 m. Calizas cavernosas, dolomias, yesos y arcillas, del Keuper.

Erupciones de *gas* a los 171,8 metros.

31. Alda, 1 (1956-1959) (CIEPSA, núm. 8).—Emplazado en la localidad de Alda (Alava). Comenzó la perforación el 1 de octubre de 1956, y terminó el 28 de abril de 1959, a la profundidad de 5.029,25 metros. Es, por el momento, la perforación más profunda realizada en España y una de las más profundas de Europa. Explora la misma estructura que los sondeos de Zúñiga y antiguo de Gastiain, pero se sitúa en el flanco septentrional. Partió de calizas senonenses y cortó las siguientes formaciones:

- 0-595 m. Calizas, margas y arcillas dominantes, del Coniacense.
 595-1.063 m. Mismas formaciones, del Turonense.
 1.063-2.220 m. Margas, con algunos tramos arenosos y porosos, del Cenomanense.
 2.220-3.487 m. Mismas formaciones, del Albense.
 3.487-4.200 m. Calizas, margas, areniscas y areniscas cuarcitosas, extremadamente abrasivas y difíciles de perforar, del Aptense.
 4.200-4.500 m. Masa de caliza arrecifal del Aptense y niveles inferiores.
 4.500-5.024,25 m. Margas, areniscas y areniscas cuarcitosas, con arcillas duras y areniscas desprovistas de porosidad. ¿Neocomiense?

Cortó *gas metano* entre los 2.755 y los 2.088 metros, y a otras profundidades, pero no en cantidad industrial. Se hizo una prueba acumulativa del espacio comprendido entre los 4.300 y los 4.500 metros, que ocasionó una irrupción de *gas metano*, mezclado con agua, que ascendió hasta 20 metros por encima del piso de la torre, pero a las dos horas dejó de fluir.

Estos datos difieren algo de los datos parciales publicados en la relación anterior, cuando aún proseguía la perforación. Sin embargo, toda la información procede de la Compañía. Las diferencias se deben, con toda probabilidad, a una interpretación más exacta de los datos llevada a cabo una vez terminado el sondeo. Perforación llevada a cabo con una sonda National Idea! 110.

32'. Elvira, 3 (1956) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 3).—Emplazado en el borde del diapiro de Ordoña (en Alava). Comenzó la perforación el 20 de septiembre de 1956, y terminó el 24 de octubre del mismo año, a la profundidad de 271,5 metros. Fue practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 15 m. Cantos rodados del Cuaternario.
- 15 - 228,5 m. Calizas cavernosas, dolomías, yesos y arcillas del Keuper.
- 228,5 m. Borde del diapiro.
- 228,5-271,5 m. Margas con lechos de caliza, del Cenomanense.

Indicios de gas, en la brecha del borde del diapiro.

32''. Elvira, 4 a (1956) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 4).—Emplazado en el borde del diapiro de Ordoña (en Alava). Comenzó la perforación el 30 de octubre de 1956, y terminó el 20 de diciembre del mismo año a la profundidad de 340,1 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 15 m. Cantos rodados, del Cuaternario.
- 15 - 336,5 m. Calizas cavernosas, yesos, dolomías y arcillas del Keuper.
- 336,5 m. Borde del diapiro.
- 336,5-340,1 m. Calizas dolomitizadas y silicizadas, del Cretáceo.

Indicios de gas en la brecha del borde del diapiro.

33. Treviño, 1 (1957) (CIEPSA, núm. 10). — Está emplazado en la localidad de Treviño (Burgos), en

un anticlinal oligoceno. Comenzó la perforación en febrero de 1957 y terminó a la profundidad de 2.595 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-1.545 m. Terciario continental.
- 1.545-2.595 m. Triásico.

Se encontraron indicios de gases sin importancia industrial. La estructura se reveló como un domo salino, oculto en profundidad, en que se cortaron 1.000 metros de sal con alguna intercalación de arcillas rojas compactas.

33'. Elvira, 2 b (1957) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 5).—Emplazado en la margen del diapiro de Ordoña (en Alava). Comenzó la perforación el 26 de febrero de 1957 y terminó el 12 de marzo del mismo año, a profundidad de 309,2 metros. Fue practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 33,5 m. Cantos rodados y arcillas margosas, del Cuaternario.
- 33,5-143 m. Calizas cavernosas, yesos, dolomías y arcillas, del Keuper.
- 143 m. Borde del diapiro.
- 143 - 309,2 m. Margas y calizas, con intercalaciones de areniscas calcíferas, del Cenomanense.

Gas en la brecha del borde del diapiro.

33''. Elvira, 4 b (1957) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 6).—Emplazado en la margen del diapiro de Ordoña (en Alava). Comenzó la perforación el 29 de marzo de 1957, y terminó el 8 de mayo del mismo año a profundidad de 505,5 metros. Fue practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 14,5 m. Cantos rodados, del Cuaternario.
- 14,5-400,5 m. Calizas cavernosas, yesos, dolomías y arcillas, del Keuper.
- 400,5 m. Borde del diapiro.
- 400,5-505,5 m. Margas con intercalaciones de arcillas.

34. Encarnación, 1 (1957) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 7).— Emplazado en la margen del diapiro de Villasana de Mena (Burgos). Comenzó la perforación el 25 de mayo de 1957, y terminó el 9 de julio del mismo año a la profundidad de 438,5 metros. Practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-312 m. Calizas cavernosas, yesos, dolomías y arcillas, del Keuper.
- 312 m. Borde del diapiro.
- 312-328,1 m. Areniscas, del Albense.
- 328,1 m. Falla.
- 328,1-438,5 m. Margas y calizas, del Cenomanense.

Indicios de *gas* y *petróleo* bajo el Keuper.

35. Leva, 2 (1957-1958) (CAMPESA, núm. 10).— Emplazado en la localidad de Leva (Burgos). Comenzó su perforación el 26 de julio de 1957, y terminó el 30 de marzo de 1958 a la profundidad de 2.219 metros. Está enclavado no lejos de Leva 1, del que se pensó que estaba colocado en la culminación de un anticlinal de tipo normal. La perforación de Leva 1 demostró que se trataba de una cúpula salina, por lo que se trasladó la máquina a un flanco, en la localidad de Leva 2. Ha cortado las siguientes formaciones:

- 0-50 m. Calizas y margas con *Micraster* y *Mammites*, del Turonense inferior.
- 50-272 m. Calizas y margas arenosas, y tanto más arenosas cuanto más profundas. Turonense inferior.
- 272-497 m. Areniscas con cemento calizo, alternantes con margas arenosas. Areniscas y margas con mica y calizas arenoso margosas, que en la base tienen orbitolinas. Cenomanense.

Falla

- 497-1.989 m. Areniscas y arcillas con lignitos y pizarras carbonosas de facies wealdense.

Discordancia

- 1.989-1.996 m. Anhidritas y areniscas alternantes, del Rético.
- 1.996-2.128 m. Dolomías, anhidrita y sal, del Rético
- 2.128-2.219 m. Arcillas rojas, anhidritas y sal, del Keuper.

37. Carmona, 1 (1957-1958) (ADARO, núm. 8).— Situado en la localidad de Carmona (Sevilla). Comenzó la perforación el 22 de agosto de 1957 y terminó el 23 de junio de 1958 a la profundidad de 792,08 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-7 m. Arenas y gravas, del Cuaternario.
- 7-318 m. Margas azuladas, del Mioceno.
- 318-328 m. Margas azuladas arenosas, del Mioceno.
- 328-505 m. Margas azuladas más o menos arenosas con algún horizonte delgado de areniscas, del Mioceno.
- 505-511 m. Margas azuladas, más arenosas, y horizontes de areniscas, del Mioceno.
- 511-597 m. Margas azuladas y margas azuladas poco arenosas, del Mioceno.
- 597-681 m. Areniscas, algún conglomerado y alguna marga azulada, del Mioceno.
- 681-695 m. Margas azuladas, del Mioceno.
- 695-792 m. Alternancia de margas azuladas, areniscas y arenas, y en la base un conglomerado fino, del Mioceno.

Este sondeo tuvo un objeto puramente estratigráfico para preparar una campaña geofísica.

40. Treviño, 2 (1957-1958) (CIEPSA, núm. 11).— Emplazado en la localidad de Treviño (Burgos), a unos tres kilómetros al oeste de Treviño 1. Inició la perforación en 25 de octubre de 1957 y terminó el 6 de marzo de 1958 a la profundidad de 2.000 metros. Partió del Oligoceno y atravesó las siguientes formaciones:

- 0-640 m. Terciario continental.
- 640-2.000 m. Cretácico superior.

Después de atravesar Oligoceno, Campanense y Santonense, entra en falla, y en el Cenomanense a lo largo de 80 metros. De nuevo en falla y salta al Coniacense, tras el que sigue la serie normal. Entre los 1.975 y los 2.190 metros, encontró un nivel de *gas húmedo*, que contenía la serie metano, etano, propano, butano, pentano y hexano. Fué abandonado por dificultades mecánicas.

41. Ojén (1957-1958) (VALDEBRO, núm. 13).—

Está ubicado en la localidad de Ojén (Cádiz). Comenzó la perforación el 3 de diciembre de 1957, y terminó el 4 de marzo de 1958 a la profundidad de 1.750,76 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0- 698 m. Arcillas fisibles con ligeras intercalaciones de areniscas, del Eoceno.
- 698-1.750,76 m. Areniscas más o menos duras con intercalaciones arcillosas, del Eoceno.

Las dificultades que presentaba la perforación de las arcillas eocenas, de las que no se salió en toda la longitud del sondeo, obligaron a abandonar la perforación.

42. Laño, 2 (1958) (CIEPSA, núm. 12).—Localizado en la población de Baroja (Alava). Empezó la perforación el 13 de febrero de 1958, y terminó el 15 de octubre del mismo año, a la profundidad de 2.195 metros. Está situado en la misma estructura que Laño 1, pero en su prolongación hacia el Oeste, muy cerca del diapiro triásico de Peñacerrada. Ha cortado las siguientes formaciones:

- 0- 30 m. Oligoceno.
- 30- 110 m. Calizas y margas marinas, del Eoceno.
- 110-1.955 m. Calizas, margas, arcillas y areniscas, del Cretáceo superior.
- 1.955-2.120 m. Margas, arcillas, areniscas y arenas, del Wealdense.
- 2.120-2.195 m. Arcillas rojas y calizas dolomíticas, del Triásico.

Cortó diversas fallas, algunas de las cuales originaron repetición de formaciones y otras, en cambio, supresión de tramos de la columna estratigráfica normal. Por ejemplo, una falla inversa repitió algunos lechos turonenses, y otras normales suprimieron parte del Cretáceo inferior.

Se ha encontrado algo de *gas metano*, pero el nivel con petróleo de Laño 1 falta por completo.

43. Cerrogordo, 1 (1958-1959) (VALDEBRO, número 14).—

Emplazado en la localidad de Cerrogordo (Cádiz). Comenzó la perforación el 19 de marzo de 1958, y terminó el 17 de enero de 1959 a la profundidad de 3.558,50 metros. Se han cortado las siguientes formaciones:

- 0-1.234 m. Arcillas fisibles grises, del Eoceno.
- 1.234-2.151 m. Serie predominantemente caliza, del Cretáceo, en que está incluido el Cretáceo superior y que a 1.651 m. son calizas oolíticas con microfósiles del Aptense.
- 2.151-3.558 m. Serie que empieza con arcillas rojas atribuidas al Neocomiense y que continúa con alternancia de calizas, arcillas y dolomias con intercalaciones de anhidrita, a veces finamente tableada. Se estima que termina con el Jurásico a los 2.985 m., y que desde allí, hasta los 3.558, pertenece al Triás medio.

Varios niveles de las calizas cretáceas han manifestado trazas de *petróleo* y *gas*.

Se abandonó por dificultades mecánicas causantes de averías.

44. Quintana Redonda (1958) (VALDEBRO, número 15).—

Emplazado en la localidad de Quintana Redonda (Soria). Comenzó el sondeo el día 19 de marzo de 1958, y terminó el 28 de abril del mismo año, a la profundidad de 1.156,40 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0-420 m. Areniscas y niveles de calizas blancas o rosadas con un nivel basal de conglomerados, Oligoceno.
 420-830 m. Calizas muy duras y compactas, del Cretáceo superior.
 830-875 m. Niveles más arcillosos, atribuidos al Cenomanense.
 875-1.060 m. Arenisca blanca, no compacta, con intercalaciones de arcilla, atribuida al Albense.
 1.060-1.156,40 m. Pizarras negras micáceas de Paleozoico indeterminado.

45. Treviño, 3 (1958-1959) (CIEPSA, núm. 13).—

Esta emplazado en el Condado de Treviño (Burgos), a un kilómetro de distancia de Treviño 2. Comenzó la perforación el 23 de mayo de 1958, y terminó el 28 de abril de 1959, a la profundidad de 3.134 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0-310 m. Oligoceno.
 310-1.960 m. Calizas, arcillas y margas, con reducida porosidad, del Cretáceo superior.
 1.960-3.080 m. Arcillas duras y areniscas con lechos delgados de lignitos, correspondientes al Albense-Aptense de facies wealdense.
 3.080-3.134 m. Keuper diapírico.

Indicios ligeros de gas metano en el Albense-Aptense, cuyos lechos porosos están impregnados de agua salada.

46. Gormaz (1958) (VALDEBRO, núm. 16).—

Está emplazado en la localidad de Gormaz (Soria). Inició las tareas de perforación el 12 de mayo de 1958, y terminó el 25 de agosto del mismo año, a la profundidad de 2.200,04 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0-172 m. Calizas duras, del Senonense y Turonense.
 172-233 m. Calizas y margas, del Cenomanense.
 233-347 m. Areniscas blancas, poco consolidadas, atribuidas al Albense.
 347-702 m. Calizas grises oscuras, atribuidas al Lias.
 702-929 m. Carniolas, con intercalaciones dolomíticas, del Ráfense.
 929-1.287 m. Anhidritas en masa, probablemente del Rético.
 1.287-1.739 m. Arcillas típicas del Keuper.
 1.739-2.200,04 m. Areniscas con intercalaciones de margas, todo ello de colores rojos, del Buntsandstein.

47. Monegrillo (1958) (VALDEBRO, núm. 17).—

Emplazado en la localidad de Monegrillo (Zaragoza). Inició su perforación el día 10 de junio de 1958, y terminó el 24 de julio del mismo año, a la profundidad de 1.446,27 metros. Atravesó las siguientes formaciones (2):

- 0-967 m. Margas yesíferas con episodios calizos de edad terciaria.

Discordancia

- 967-1.393 m. Calizas areniscosas, arcillas pizarreñas, nivel de sal y dolomías de color rosado, atribuido todo ello al Secundario.
 1.393-1.446,27 m. Arcillas negras pizarreñas, atribuidas al Carbonífero.

48. Pamplona, 1 (1958-1959) (VALDEBRO, número 18).—

Está emplazado pocos kilómetros al oeste de Pamplona. Inició sus tareas de perforación el 13 de agosto de 1958, y terminó el 8 de enero de 1959 a los 2.788,28 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0-196 m. Margas grises azuladas, del Bartonense.
 196-298 m. Arcillas, sales y yesos del Keuper (diapírico).
 298-448 m. Margas, alternantes con calizas fracturadas, con indicios de petróleo, del Luteciense.
 448-569 m. Calizas compactas con intercalaciones arcilloso calizas atribuidas al tramo de *Alveolina*, del Luteciense inferior.
 569-853 m. Calizas duras, fracturadas, con manchas de petróleo, del Eoceno inferior.
 853-1.452 m. Calizas fracturadas, con intercalaciones margosas del Maestrichtense.
 1.452-1.615 m. Arcillas calíferas gris oscuras y rojizas, fracturadas, del Cenomanense.
 1.615-1.839 m. Arcillas calíferas, negras, fisibles, con trazas de calcita, del Aptense.
 1.839-1.973 m. Arcillas negras, fisibles, del Cretáceo inferior.
 1.973-2.788,28 m. Yesos, anhidritas y sales, del Keuper.

(2) Respecto a la interpretación de este sondeo, hay observaciones y comentarios en J. M. Ríos: *Algunas consideraciones acerca del enjuiciamiento del Valle del Ebro en sus posibilidades petrolíferas*. N. y C. DEL I. G. y M. DE ESPAÑA, núm. 53, 1959.

En las calizas del Luteciense inferior se cortaron *indicios de petróleo* en capas relativamente porosas.

En las calizas del Aptense se cortaron *indicios interesantes de gas* con agua salada.

49. La Zaida (1958) (VALDEBRO, núm. 19). — Emplazado en la localidad de La Zaida (Zaragoza). Comenzó la perforación el 15 de septiembre de 1958 y terminó el 24 de noviembre del mismo año, a la profundidad de 1.700 metros. Atravesó las siguientes formaciones (3):

- 0- 396 m. Anhidritas, arcillas y yesos, del Mioceno.
- 396- 406 m. Calizas grises con abundantes fósiles, del Bajocense.
- 406- 684 m. Calizas fosilíferas del Lías inferior.
- 684-1.044 m. Anhidritas en masa con intercalaciones de margas, del Retiense.
- 1.044-1.094 m. Calizas dolomíticas del Rético o del Supra-Keuper.
- 1.094-1.262 m. Arcillas rojas y yesos del Keuper.
- 1.262-1.430 m. Calizas dolomíticas con intercalación de anhidritas, de la base del Keuper.
- 1.430-1.581 m. Arenisca rojiza de grano fino con intercalaciones de arcilla gris arenosa, del Buntsandstein.
- 1.581-1.700 m. Arcillas rojizas con conglomerados (de la base del Trias) y pizarras negras de la superficie paleozoica.

50. Carmona, 2 (1958) (ADARO, núm. 9). — Está emplazado en la localidad de Carmona (Sevilla). Comenzó la perforación el 9 de noviembre de 1958, y terminó el 25 de diciembre del mismo año, a la profundidad de 583 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0-438 m. Arcillas gris azuladas, del Mioceno
- 438-509 m. Arcillas margosas, gris azuladas, del Mioceno.

(3) Respecto a la interpretación de este sondeo, hay observaciones y comentarios en la publicación antes reseñada acerca de las posibilidades petrolíferas del Valle del Ebro.

- 509-554 m. Margas gris azuladas, con anhidritas, del Mioceno. Neis granatífero del Paleozoico.
- 554-583 m. Anhidritas del Mioceno y neis granatífero del Paleozoico.

Las pruebas de producción dieron resultado nulo.

51. Retuerta (1958-1959) (VALDEBRO, núm. 20). Emplazado en la localidad de Retuerta (Burgos). Inició su profundización el día 19 de diciembre de 1958, y terminó el 17 de septiembre de 1959 a la profundidad de 3.390,59 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0- 660 m. Calizas grises y margas calizas atribuidas al Turonense inferior.
- 660-1.268 m. Areniscas algo calíferas, micáceas, duras, porosas, gris claras a grises, del Cretáceo inferior.
- 1.268-1.376 m. Caliza compacta, dura, gris clara a gris, y caliza dolomítica gris clara a parda oscura, muy dura, compacta, del Cretáceo inferior.
- 1.376-2.310 m. Arcillas rojo-pardas, alternantes con areniscas blancas o gris verdosas y dolomías, del Wealdense.
- 2.310-2.443 m. Caliza algo arcillosa, parda a negra, con arenisca blanca. Atribuida al Wealdense.
- 2.443-2.815 m. Arcillas rojas con intercalaciones de areniscas. Atribuidas al Wealdense.
- 2.815-3.368 m. Caliza muy arcillosa, de gris oscura a negra, y caliza con fracturas rellenas de calcita, del Liásico.
- 3.368-3.390,59 m. Capas de anhidrita, con margas calizas duras intercaladas. ¿Retiense? ¿Keuper?

Las areniscas blancas comprendidas entre los 2.310 y los 2.443 metros dieron *indicios de hidrocarburos*. Una capa de arenisca de 10 centímetros de grueso liberó *crudos ligeros*.

51' Aloria, 1 (1958-1959) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 8). — Emplazado en el borde del diapiro de Orduña (en Alava). Comenzó la perforación el 31 de diciembre de 1958, y terminó el 25 de febrero de 1959 a profundidad de 841 metros. Fue practicado para re-

conocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 13 m. Margas y calizas del Cretáceo superior, del sombrero del diapiro.
- 13 - 776 m. Dolomías, yesos, anhidritas, sal y arcillas, del Keuper.
- 776 m. Borde del diapiro.
- 776 - 799,2 m. Arcillas con areniscas finas del Cretáceo inferior.
- 799,2 - 804,75 m. Areniscas del Cretáceo inferior.
- 804,75 - 829,9 m. Arcillas con areniscas finas del Cretáceo inferior.
- 829,9 - 841 m. Calizas del Urgo-Apense.

51". Sopeñano, 1 (1959) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 9).—Emplazado en la localidad de Sopeñano (Burgos). Comenzó la perforación el 4 de enero de 1959, y terminó el 11 de abril de mismo año, a la profundidad de 510 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 9 m. Cuaternario.
- 9-251 m. Calizas cavernosas del Keuper.
- 251-275 m. Ofitas del Keuper.
- 275-362 m. Calizas cavernosas del Keuper.
- 362-468 m. Yesos del Keuper.
- 468-482 m. Caverna.
- 482-510 m. Anhidrita.

Terminado, sin alcanzar el objetivo deseado, por dificultades de mantener los lodos como consecuencia de la caverna encontrada.

52. Alloz (1959) (CIEPSA, núm. 14).—Emplazado en la localidad de Alloz (Navarra). Comenzó la perforación el 19 de enero de 1959 y terminó el 31 de octubre del mismo año a la profundidad de 3.231 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-1.100 m. Mioceno.
- 1.100-1.350 m. Oligoceno.
- 1.350-1.492 m. Eoceno.
- 1.492-1.900 m. Cenomanense inferior.

- 1.900-2.079 m. Albense superior.
- 2.079-3.231 m. Triásico.

No cortó indicio alguno.

53. Castilleja de la Cuesta, 1 (1959) (ADARO, núm. 10).—Está emplazado en la localidad de Castilleja de la Cuesta (Sevilla). Comenzó la perforación el 7 de febrero de 1959 y terminó el 23 del mismo mes a la profundidad de 937 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-908 m. Arcillas gris azuladas del Mioceno.
- 908-937 m. Mismas arcillas con intercalaciones de arena y arenisca, del Mioceno, que descansan sobre pizarras del Cambriano.

Entre 778 y 790 metros y entre 908 y 937 metros, horizontes porosos (Schlumberger), que dieron, en prueba de producción, gas emulsionado con agua salada, sin interés industrial.

54. Guernica (1959) (CAMPSA, núm. 11).—Emplazado al N. de la localidad de Guernica (Vizcaya). Comenzó su perforación el 12 de febrero de 1959 y terminó el 14 de mayo del mismo año a la profundidad de 1.640 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 60 m. Límos y acarreos cuaternarios.
- 60- 160 m. Margas y calizas oscuras azoicas del Liásico (¿Hettangense?).
- 160- 247 m. Arcillas rojas y verdes, y lechitos de dolomías, del Triásico.
- 247- 390 m. Dolomías, anhidritas y yesos con pirita, del Triásico.
- 390-1.640 m. Arcillas abigarradas y yesos, del Triásico.

55. Pamplona, 2 (1959) (VALDEBRO, núm. 21).—Emplazado cerca de Pamplona 1, a pocos kilómetros al Oeste de Pamplona. Comenzó la perforación el 21 de febrero de 1959 y terminó el 9 de marzo del mismo año a la

profundidad de 1.809,59 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0- 211 m. Arcillas grises, fósiles, del Eoceno.
- 211- 847 m. Marga calizas y calizas grises, y arcillas compactas, del Eoceno inferior.
- 847-1.237 m. Caliza gris con vetas de calcita, del Senonense superior.
- 1.237-1.310 m. Arcilla negra, con yeso blanco y rosado, del Keuper.
- 1.310-1.809,59 m. Sal con inclusiones de arcilla del Keuper.

56. Cerrogordo, 2 (1959) (VALDEBRO, núm. 22).

Emplazado en la localidad de Cerrogordo (Cádiz). Comenzó la perforación el 6 de marzo de 1959 y terminó el 9 de agosto del mismo año a la profundidad de 3.377,18 metros. Atravesó las siguientes formaciones:

- 0-1.280 m. Arcillas de varios colores con intercalaciones de areniscas grises, del Eoceno.
- 1.280-1.376 m. Calizas verdes y rojizas, veteadas de calcita, y calizas pardas veteadas de calcita, con intercalaciones de arcilla, del Eoceno.
- 1.376-1.390 m. Formaciones con pedernal, que se atribuyen al Turonense superior-Cenomanense.
- 1.390-1.433 m. Calizas, y de nuevo arcillas verdes y rojas. Sólo se recuperan calizas del Cenomanense y Berriasense.
- 1.433-2.114 m. Calizas compactas y duras, gris verdosas y pardas, con vetas de calcita y trazas de arcilla verdosa, del Jurásico superior.
- 2.114-2.838 m. Calizas dolomíticas grises con olor sulfhídrico (en la fractura), atribuidas al Jurásico.
- 2.838-3.377,18 m. Sin información.

Se supone que a los 2.570 metros se cortó una falla que ocasionaría repetición de las formaciones a partir de los 1.433 metros. Este hecho, unido a la considerable desviación experimentada por el sondeo, determinó su terminación.

56' Elvira, 5 (1959) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 10).—Emplazado en la margen del diapiro de Or-

duña (en Alava). Comenzó la perforación el 1 de abril de 1959 y terminó el 23 de mayo del mismo año a la profundidad de 648 metros. Practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0 - 82 m. Cantos rodados del Cuaternario.
- 82 -533,1 m. Calizas cavernosas, margas, yesos, dolomías y arcillas, del Keuper.
- 533,1 m. Borde del diapiro.
- 533,1-648 m. Arcillas del Cenomanense-Albense.

57. Salteras, 1 (1959) (ADARO, núm. 11).—

Está emplazado en la localidad de Salteras (Sevilla). Comenzó la perforación el 13 de abril de 1959 y terminó el 23 del mismo mes a la profundidad de 665 metros. Las formaciones cortadas fueron las siguientes:

- 0-639 m. Arcillas azuladas del Mioceno.
- 639-651 m. Arenas arcillosas con intercalaciones de areniscas duras, conchíferas, del Mioceno.
- 651-665 m. Arenas arcillosas, aglomerado de fósiles, y pizarra del Paleozoico.

Los niveles arenosos dieron *indicios de gas en emulsión* con aguas saladas.

57'. Sopeno, 2 (1959) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 11).—

Emplazado en la localidad de Sopeno (Burgos). Comenzó la perforación el 13 de mayo de 1959 y terminó el 16 de septiembre del mismo año a la profundidad de 405 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0- 8 m. Cuaternario.
- 8-289 m. Calizas cavernosas del Keuper.
- 289-405 m. Yesos y anhidritas del Keuper.

Se dió por terminado, sin alcanzar la profundidad prevista, como consecuencia de la dificultad de mantener los lodos en las calizas cavernosas.

58. Carmona, 3 (1959) (ADARO, núm. 12). —

Está emplazado en la localidad de Carmona (Sevilla). Comenzó a perforar el 15 de mayo de 1959 y terminó el 6 de agosto del mismo año a profundidad de 908 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-636 m. Arcillas margosas y arcillas gris azuladas, del Mioceno.
- 636-675 m. Las mismas formaciones con intercalaciones de arenas y areniscas, del Mioceno.
- 675-895 m. Margas arcillosas del Mioceno.
- 895-903 m. Arenas sueltas del Mioceno.
- 903-904 m. Neís granatífero del Paleozoico.
- 904-908 m. Pórfido cuarífero del Paleozoico.

Pruebas de producción con resultados nulos.

59. Monesma (1959-1960) (VALDEBRO, núm. 23).

Emplazado en la localidad de Monesma (Huesca). Comenzó su perforación el día 24 de mayo de 1959 y terminó el 29 de febrero de 1960 a profundidad de 4.750 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0- 275 m. Facies flysch del Eoceno medio.
- 275- 665 m. Arcillas calíferas grises del Luteciense.
- 665- 730 m. Calizas de *Alveolina* del Eoceno inferior.
- 730- 884 m. Calizas brechoides y areniscas de la transición del Eoceno a Cretáceo.
- 884-1.165 m. Margas rojas y abigarradas, con intercalaciones de areniscas, del Garumnense.
- 1.165-1.200 m. Calizas areniscosas del Maestrichtense.
- 1.200-4.024 m. Arcillas calíferas grises y calizas con intercalaciones de arcillas, del Cretáceo superior.
- 4.024-4.175 m. Dolomía gris muy porosa, atribuida, con dudas, al Aptense.
- 4.175-4.681 m. Calizas margosas negras, en paso a calizas dolomíticas y dolomías con alternancias de caliza arcillosa y arcilla calífera gris con fósiles, del Lias superior.
- 4.681-4.750 m. Dolomía gris oscura y anhidrita blanca y arcilla parda con capas de sal, del Keuper.

59'. Lahoz, 1 (1959) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 12).—Emplazado en el anticlinal de Lahoz (A'ava).

Comenzó la perforación el 25 de junio de 1959 y terminó el 7 de agosto del mismo año a la profundidad de 701 metros. Practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0- 2 m. Cuaternario.
- = 2- 108 m. Margas y calizas margosas, con intercalaciones de calizas arenosas en su parte superior, del Cretáceo superior.
- ± 114- 134 m. Calizas con intercalaciones de margas.
- ± 134 ± 335 m. Arcillas alternantes con areniscas.
- ± 335- 701 m. Areniscas de grano grueso, del Cretáceo inferior.

60. Urbasa (1959-↓) (CIEPSA, núm. 15).— Está emplazado en plena Sierra de Urbasa (Alava). Comenzaron las operaciones de perforación el 3 de agosto de 1959 y se encontraba a principios de mayo de 1960 a profundidad de 3.400 metros. Ha cortado las siguientes formaciones:

- 0- 80 m. Calizas, areniscas calíferas y margas compactas, del Eoceno.
- 80- 147 m. Areniscas, calizas arenosas y margas amarillentas, del Maestrichtense.
- 147- 450 m. Calizas margosas y margas, del Campanense.
- 450- 920 m. Margas calizas y calizas margosas, del Santonense superior.
- 920-1.940 m. Margas calizas y calizas margosas, algún nivel es finamente arenoso y micáceo, Santonense inferior, y Coniacense.
- 1.940-2.400 m. Calizas dominantes, a veces margosas y arenosas, y margas subordinadas, del Cenomanense.
- en adelante,
- hasta 3.400 m. Cenomanense y calizas de margas del Aptense en que se encuentra actualmente.

Ha cortado *indicios de petróleo* a 600 y a 1.300 metros y *gas* a diversos niveles en el Santonense-Coniacense, en el Albense y en el Aptense.

61. Carmona, 4 (1959) (ADARO, núm. 13).— Está emplazado en la localidad de Carmona (Sevilla). Co-

menzó la perforación el 18 de agosto de 1959 y terminó el 23 de diciembre del mismo año a la profundidad de 1.232 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0- 411 m. Arcillas grises del Mioceno.
- 411- 425 m. Arcillas grises con intercalaciones verdes. Aquitaniense.
- 425- 762 m. Arcillas grises del Aquitaniense.
- 762- 862 m. Arcillas grises del Vindoboniense.
- 862- 879 m. Arcillas grises del Helveciense.
- 879-1.206 m. Arcillas gris verdosas, del Helveciense.
- 1.206-1.231 m. Arcillas sueltas con piritita y biotita, del Helveciense.
- 1.231-1.232 m. Neis granatíferos del Paleozoico.

Las pruebas de producción dieron resultado nulo.

61'. Sopenano, 3 (1959) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 13).—Emplazado en la localidad de Sopenano (Burgos). Inició su perforación el 1 de octubre de 1959 y terminó el 7 de diciembre del mismo año a la profundidad de 1.913 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0- 11 m. Cuaternario.
- 11- 286 m. Calizas cavernosas, del Keuper.
- 286- 742 m. Yesos y anhidritas, del Keuper.
- 742- 790 m. Arcillas verdes, que en su parte inferior llevan sal gema, del Keuper.
- 790- 801 m. Sal gema, del Keuper.
- 801- 829 m. Arcillas verdes, del Keuper.
- 829-1.913 m. Sal gema, alternante con yesos y dolomías, del Keuper.

A 1.913 metros se encontraron presiones de ± 420 atmósferas, que obligaron a pasar la perforación.

62. Pamplona, 3 (1959-1960) (VALDEBRO, número 24).—Está situado un poco más al O. que el sondeo de Pamplona I. Comenzó su perforación el 6 de octubre de 1959 y continúa actualmente (principios de mayo), en que está a la profundidad de 3.755 metros. Ha cortado las siguientes formaciones:

- 0- 573 m. Arcillas calíferas y margas y arcillas con intercalaciones de caliza arcillosa, del Eoceno medio.
- 573- 865 m. Calizas con intercalaciones de margas y arcillas (entre los 584 y los 625 m. hay *Alveolina*), del Eoceno inferior.
- 865-1.043 m. Calizas compactas y calizas dolomíticas de tonos pardos, dos, compactas, del Paleoceno.
- 1.043-2.056 m. Margas y calizas tabulares, del Cretáceo superior.
- 2.056-2.832 m. Calizas de gris marrón a gris pardas, ligeramentemente arcillosas y arenosas, del Cretáceo superior.
- 2.832-3.040 m. Arcilla negra dura, calífera y micácea, del Cretáceo superior.
- 3.040-3.173 m. Areniscas arcillosas negras, micáceas, del Cenomanense.
- 3.173-3.421 m. Areniscas gris claras y limolitas, con capas de arcilla gris oscura a negra, del Albense.
- 3.421-3.755 m. Limolitas gris oscuras y areniscas gris claras con cemento calífero.

Indicios frecuentes e interesantes *de gas* a partir de los 3.040 metros.

62'. Tabliega, 1 (1959) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 14).—Emplazado en el borde del diapiro de Gayangos-Rosio (Burgos). Comenzó la perforación el 26 de octubre de 1959 y terminó el 28 de noviembre del mismo año a la profundidad de 482 metros. Practicado para reconocimiento geológico. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-482 m. Calizas cavernosas, arcillas, yesos, dolomías y calizas, del Keuper.

63. Castillo, 1 (1959-↓) (CIEPSA, núm. 16).—Está emplazado en la localidad de Castillo (Alava). Comenzó la perforación el 1 de noviembre de 1959 y a principios de mayo de 1960 estaba a la profundidad de 2.750 metros. Ha atravesado las siguientes formaciones:

- Santonense.
- Coniacense.
- Turonense.
- Cenomanense (a partir más o menos, de los 2.600 m.).

Este sondeo ha manifestado *importantes afluencias de gas* desde los 2.100 metros. Se ha entubado (a 518) y cementado hasta los 2.600 metros. A partir de los 2.680 metros nuevas afluencias de *gas*.

64. Zufia (1960-↓) (CIEPSA, núm. 17).—Situado en la localidad de Zufia (Navarra). Comenzó la perforación, que continúa en la actualidad, a principios de año. No se conoce más información de éste último sondeo de CIEPSA.

64'. Sopenano, 4 (1960-↓) (COMP. PETR. IBERICA, núm. 15).—Emplazado en la localidad de Sopenano (Burgos). Comenzó la perforación el 12 de febrero de 1960 y el 25 de mayo del mismo año se encontraba a la profundidad de 1.310 metros. Cortó las siguientes formaciones:

- 0-247 m. Calizas cavernosas, del Keuper.
- 247-788 m. Arcillas, yesos y anhidritas, del Keuper.
- 788 m. Borde del diapiro.
- 788-929 m. Areniscas del Albense.
- 929-1.310 m. Calizas del Urgo-Aptense.

Las areniscas albenses y las calizas urgo-aptenses han mostrado indicios de hidrocarburos.

65. Carmona, 5 (1960-↓) (ADARO, núm. 14).—Situado en la localidad de Carmona (Sevilla). Comenzó la perforación, que continúa actualmente (primeros de mayo de 1960), el día 18 de abril de 1960 y se encuentra a la profundidad de 845 metros. Ha cortado las siguientes formaciones:

- 0-100 m. Albarizas blancas del Oligoceno.
- 100-845 m. Arcillas del Oligoceno.

A partir de la profundidad de 500 metros las pruebas ejecutadas denotan la presencia de *gas* en todo el espesor de la formación cortado hasta el momento actual.

66. Bujaraloz (1960-↓) (ADARO, núm. 25).—En preparación cuando se termina esta relación.

III. OTRAS ACTIVIDADES

SIPSA.

Dos sondeos en el Cretáceo. Uno en Vallfogona encontró, casi seguido, *indicios de aceites ligeros*. Esta perforación, de testigo casi continuo, alcanzó una profundidad de ± 1.000 metros.

IV. EQUIPOS DE PERFORACIÓN EMPLEADOS PARA LA REALIZACIÓN DE LOS ANTERIORES SONDEOS

Máquinas de sondeo.

Compañía	Fabricación	Alcance
CAMPSA:	OILWELL	2.200 - 2.500 m.
VALDEBRO:	EMSCO J. 1.100	4.500 m.
	EMSCO G. 500	3.000 - 3.500 m.
INE:	EMSCO J. 1.100	4.500 m.
ADARO:	HANIEL-LUEG	1.500 - 1.800 m.
CEPSA:	EMSCO	3.000 - 3.500 m.
	WIRTH	4.000 - 4.500 m.
	NATIONAL IDEAL 110	5.000 m.
COMP. PETR. IBERICA:	SALZGITTER SB-30	500 m.
	FAILING 2.500	800 m.
	SALZGITTER 200/g	2.000 m.

V. RELACIÓN DE SONDEOS POR COMPAÑÍAS

Núm. de orden de la Compañía	Núm. de orden de la clasificación general	SONDEO	Coordenadas	Epoca de perforación	Profundidad alcanzada en metros	RESULTADO g: gases. l: hidrocarburos líquidos. s: asfaltos.
A D A R O						
1	6	Chiclana.	(Véase Chiclana 2.)	1947-49	247	Indicios (g, l).
1'	14	Baeza.	En la vecindad de la estación de Baeza - Bailén del F. C.	1953	410	Indicios (g).
2-4	16-18	Baeza-Bailén.		1953-54	(101)-640	Indicios (g).
5	22'	Ecija.	1° 23' 43" O. 37° 34' 15" N.	1954-55	354	(g).
6	22	Chiclana 2.	2° 27' 38" O. 36° 24' 45" N.	1954-56	1.032	Indicios (g).
7'	29'	Villalba del Alcor.	2° 48' 15" O. 37° 29' 59" N.	1956	210	Negativo.
7	34	Medina Sidonia.	2° 13' 50" O. 36° 22' 25" N.	1957	184	Negativo.
8	37'	Carmona 1.	2° 0' 55" O. 37° 31' 17" N.	1957-58	792	Estratigráfico.
9	50	Carmona 2.	1° 55' 40" O. 37° 31' 30" N.	1958	583	Negativo.
10	53	Castilleja de la Cuesta.	2° 22' 32" O. 37° 22' 57" N.	1959	937	Indicios (g).
11	57	Salteras 1.	2° 24' 58" O. 37° 24' 58" N.	1959	665	Indicios (g).
12	58	Carmona 3.	1° 55' 58" O. 37° 28' 52" N.	1959	908	Negativo.
13	61	Carmona 4.	1° 54' 42" O. 37° 26' 31" N.	1959	1.232	Negativo.
14	65	Carmona 5.	1° 51' 31" O. 37° 24' 40" N.	1960	845	(g, g).
C A M P S A						
1	1	Tudanca.	0° 01' 14" O. 42° 51' 36" N.	1941	445	Negativo.
2	2	Zamanzas 1.	0° 02' 42" O. 42° 50' 40" N.	1942	602	Indicios (g, l).
3	3	Zamanzas 2.	0° 02' 22" O. 42° 50' 40" N.	1944	820	Indicios (g, l).

Núm. de orden de la Compañía	Núm. de orden de la clasificación general	SONDEO	Coordenadas	Epoca de perforación	Profundidad alcanzada en metros	RESULTADO g: gases. l: hidrocarburos líquidos. s: asfalto.
4	4	Zamanzas 3.	0° 02' 50" O. 42° 50' 50" N.	1945	860	Indicios (g, l).
5	7	Peña Ortún.	0° 04' 30" O. 42° 52' 08" N.	1949-50	1.264	Indicios (g, l).
6	10	Dobro.	0° 02' 40" E. 42° 49' 38" N.	1951	1.221	Negativo.
7	12	Villanueva de Rampalay.	0° 02' 08" O. 42° 50' 25" N.	1952-53	2.177	Indicios (g, l).
8	19	Délica.	0° 42' 03" E. 42° 57' 42" N.	1953-54	558	Negativo.
9	28	Leva 1	0° 01' 55" O. 42° 56' 51" N.	1956	1.512	Indicios (l).
10	35	Leva 2	0° 00' 42" E. 42° 57' 08" N.	1957	2.219	Negativo.
11	54	Guernica.	1° 00' 55" E. 43° 19' 42" N.	1959	1.640	Negativo.
C I E P S A						
1	5	Oliana.	4° 59' 23" E. 42° 04' 12" N.	1947-48	2.223	Negativo.
2	8	Burgo de Osma.	0° 37' 05" E. 41° 34' 26" N.	1949-50	2.212	Negativo.
3	9	La Marina	3° 01' 40" E. 38° 08' 40" N.	1950-51	1.610	Negativo.
4	11	Rojales.	2° 58' 18" E. 38° 04' 30" N.	1952	1.582	Negativo.
5	13	Boltaña.	3° 43' 00" E. 42° 43' 00" N.	1952-54	2.124	Negativo.
6	21	Zúñiga 1.	1° 23' 22" E. 42° 43' 12" N.	1954	3.102	(g).
7	23	Apodaca 1.	0° 57' 30" E. 42° 55' 00" N.	1955	2.535	Negativo.
8	31	Alda 1.	1° 21' 38" E. 42° 44' 54" N.	1956-59	5.024	Indicios (g).
9	29	Laño 1.	1° 05' 22" E. 42° 39' 37" N.	1956	3.501	Indicios (g, l, s).
10	33	Treviño 1	0° 57' 20" E. 42° 43' 24" N.	1957	2.595	Indicios (g).
11	40	Treviño 2.	1° 00' 58" E. 42° 42' 21" N.	1957-58	2.000	(g).
12	42	Laño 2.	1° 00' 00" E. 42° 39' 50" N.	1958	2.195	Indicios (g).

Núm. de orden de la Compañía	Núm. de orden de la clasificación general	SONDEO	Coordenadas	Epoca de perforación	Profundidad alcanzada en metros	RESULTADO g: gases. l: hidrocarburos líquidos. s: asfalto.
13	45	Treviño 3.	0° 57' 30" E. 42° 43' 20" N.	1958-59	3.134	Indicios (g)
14	52	Alloz.	1° 42' 49" E. 42° 42' 12" N.	1959	3.231	Negativo.
15	60	Urbasa.	1° 25' 00" E. 42° 48' 38" N.	1959-↓	3.400 ↓	Indicios (g).
16	63	Castillo.	1° 01' 00" E. 42° 48' 40" N.	1959-↓	2.750 ↓	(g, g, g).
17	64	Zufia.	1° 34' 50" E. 42° 39' 48" N.	1960-↓	↓	
V A L D E B R O						
1	15	Marcilla.	1° 58' 58" E. 42° 20' 17" N.	1953	3.415	Negativo.
2	20	Castilfrío.	1° 22' 48" E. 41° 56' 39" N.	1954	2.400	Negativo.
3	24	San Lorenzo.	1° 19' 47" E. 39° 51' 46" N.	1955	2.580	Negativo.
4	25	Iglesias.	0° 16' 10" O. 42° 18' 35" N.	1955-56	2.180	Negativo.
5	26	Puigreig.	5° 34' 30" E. 41° 58' 30" N.	1956	3.192	Negativo.
6	27	Bornos.	2° 03' 58" O. 36° 50' 08" N.	1956	3.027	Negativo.
7	30	Matienzo.	0° 06' 10" E. 43° 18' 16" N.	1956	1.950	Negativo.
8	32	Almarchal.	2° 07' 00" O. 36° 08' 40" N.	1956-57	3.405	(g).
9	36	Asperillo.	2° 57' 40" O. 37° 04' 38" N.	1957	3.307	Negativo.
10	37	Isla Mayor.	2° 27' 30" O. 37° 09' 33" N.	1957	2.373	Negativo.
11	38	Moguer.	3° 06' 53" O. 37° 09' 21" N.	1957	2.473	Negativo.
12	39	Almonte.	2° 47' 00" O. 37° 15' 45" N.	1957	1.344	Negativo.
13	41	Ojén.	1° 56' 46" O. 36° 09' 17" N.	1957-58	1.751	Negativo.
14	43	Cerrogordo 1.	1° 40' 25" O. 36° 21' 15" N.	1958-59	3.559	Indicios (g, l).
15	44	Quintana Redonda.	1° 07' 55" E. 41° 39' 01" N.	1958	1.156	Negativo.

Núm. de orden de la Compañía	Núm. de orden de la clasificación general	SONDEO	Coordenadas	Epoca de perforación	Profundidad alcanzada en metros	RESULTADO g: gases. l: hidrocarburos líquidos. s: asfalto.
16	46	Gormaz.	0° 38' 05" E. 41° 29' 22" N.	1958	2.200	Negativo.
17	47	Monegrillo.	3° 15' 30" E. 41° 37' 18" N.	1958	1.446	Negativo.
18	48	Pamplona 1.	1° 57' 05" E. 42° 51' 03" N.	1958-59	2.788	Indicios (g, l)
19	49	La Zaida.	3° 16' 22" E. 41° 19' 39" N.	1958	1.700	Negativo.
20	51	Retuerta.	0° 02' 51" E. 43° 00' 47" N.	1958-59	3.391	Indicios (l)
21	55	Pamplona 2.	1° 59' 12" E. 42° 49' 35" N.	1959	1.810	Negativo.
22	56	Cerrogordo 2.	1° 43' 50" O. 36° 22' 10" N.	1959	3.377	Negativo.
23	59	Monesma.	4° 15' 15" E. 42° 14' 41" N.	1959-60	4.750	Negativo.
24	62	Pamplona 3.	1° 56' 34" E. 42° 50' 52" N.	1950 ↓	3.755 ↓	(g, g.)
25	66	Bujaraloz.	3° 34' 03" E. 41° 25' 25" N.	1960 ↓	↓	
C O M P A Ñ I A P E T R O L I F E R A I B E R I C A						
1	29"	Elvira 1.	0° 42' 11" E. 42° 57' 39" N.	1950	141	Estratigráfico.
2	29'''	Elvira 2 a.	0° 42' 02" E. 42° 58' 03" N.	1956	172	Estratigráfico. (g).
3	32'	Elvira 3.	0° 42' 04" E. 42° 58' 07" N.	1956	272	Estratigráfico. (g).
4	32''	Elvira 4 a.	0° 41' 59" E. 42° 58' 14" N.	1956	340	Estratigráfico. Indicios (g).
5	33'	Elvira 2 b.	0° 42' 12" E. 42° 58' 02" N.	1957	309	Estratigráfico. (g).
6	33''	Elvira 4 b.	0° 41' 50" E. 42° 56' 15" N.	1957	506	Estratigráfico.
7	34'	Encarnación 1.	0° 20' 17" E. 43° 04' 20" N.	1957	439	Estratigráfico. Indicios (g, l).
8	51'	Aloria 1.	0° 42' 22" E. 42° 59' 35" N.	1958-59	841	Estratigráfico.
9	51''	Sopeñano 1.	0° 21' 11" E. 42° 04' 43" N.	1959	510	Negativo.
10	56'	Elvira 5.	0° 41' 46" E. 42° 58' 18" N.	1959	648	Estratigráfico.

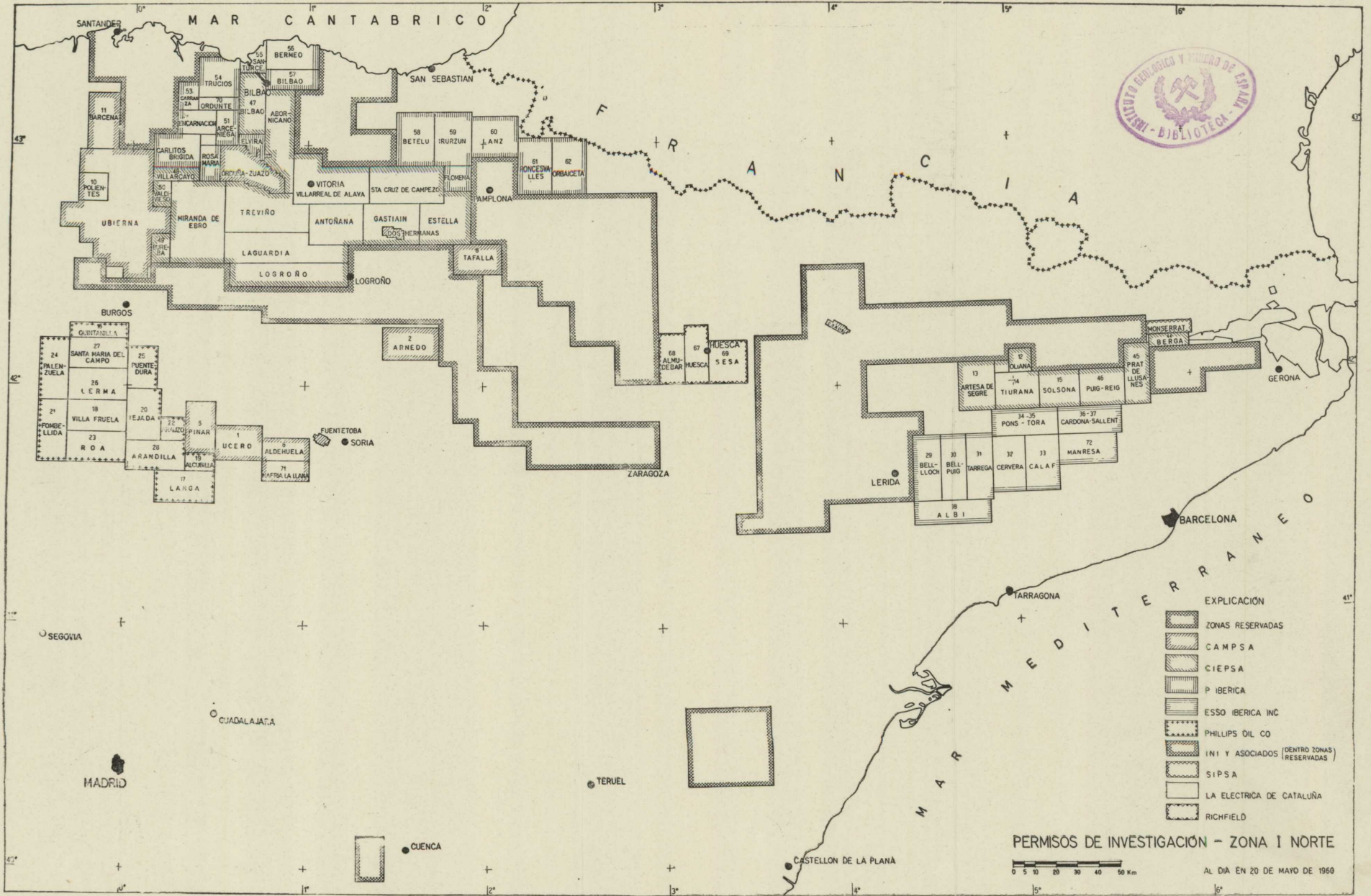
Núm. de orden de la Compañía	Núm. de orden en la clasificación general	SONDEO	Coordenadas	Epoca de perforación	Profundidad alcanzada en metros	RESULTADO g. gases, l: hidrocarburos líquidos. s: asfalto.
11	57'	Sopeñano 2.	0° 20' 53" E. 43° 04' 38" N.	1959	405	Negativo.
12	59'	Lahoz 1.	0° 26' 57" E. 42° 52' 38" N.	1959	701	Estratigráfico.
13	61'	Sopeñano 3.	0° 20' 50" E. 43° 04' 37" N.	1959	1.913	Negativo.
14	62'	Tabliega 1.	0° 14' 12" E. 43° 00' 28" N.	1959	482	Estratigráfico.
15	64'	Sopeñano 4.	Próximo a los restantes Sopeñanos.	1960 ↓	1.310 ↓	Indicios.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- ALMELA, A.: *Las investigaciones petrolíferas en la vertiente Sur-Pirineica*. «Pirineos», núms. 31-32. Zaragoza, 1954.
- BENTZ, A.: *Petróleo en Alemania* (Introducción por J. M. Ríos). N. y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 15. Madrid, 1946.
- CAMPSA: *Prospección petrolífera*. «Folleto de Información», Madrid, 1953.
- DUPUY DE LÔME, E.: *Las investigaciones de petróleo en España*, «Bol. del I. G. y M. de España», t. III. Madrid, 1937.
- — *Terrenos petrolíferos españoles*, «B. O. de la Dirección General de Minas», año XXI, núm. 237, febrero-marzo.
- — y SÁNCHEZ LOZANO: *Un aspecto de las investigaciones petrolíferas en España*, CLXXV aniversario de la Escuela de Minas, Madrid.
- ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS: *Conferencias de diversos autores en el Curso de Hidrocarburos, 1960-61*, en prensa.
- GARRIDO, J.: *La prospección de petróleos en España*, «Combustibles», año VII, núms. 45 y 46. Zaragoza, 1948.
- GAVALA, J.: *Regiones petrolíferas en Andalucía*, «Bol. Com. del Mapa Geológico de España», t. XXXVII, Madrid, 1916.
- — *Yacimientos de petróleo en Húndobro (Burgos)*, «Bol. Com. del Mapa Geológico de España», t. XXXVII, pág. 265, segunda serie, tomo XVII. Madrid, 1916.
- — y J. M. Ríos: *Actividades de Adaro y Valdebro en la investigación de hidrocarburos*, N. y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 38, pág. 121, Madrid, 1955.

- GIL RUIZ, R.: *El camino a seguir para el descubrimiento de los combustibles sólidos y líquidos en España*, «B. O. de Minas y Metalurgia», número 108, pág. 457, Madrid, 1926.
- GIMÉNEZ AGUILAR, J.: *El yacimiento petrolífero de Cucuca*, «Bol. R. S. E. de H. N.», t. 28, pág. 39. Madrid, 1928.
- GONZÁLEZ LASALA, J.: *Areniscas bituminosas petrolíferas del Puerto del Escudo, en los confines de las provincias de Santander y Burgos*, «Bol. Com. del Mapa Geológico de España», t. III, pág. 235-291, Madrid, 1876.
- HERNÁNDEZ SAMPELAYO, P.: *Noticias sobre los petróleos de Garrucha (Almería)*, «Revista Minera», t. 82, 25. Madrid, 1931.
- — *Investigaciones petrolíferas en España*, «Revista Minera», serie C, página 1. Madrid, 1935.
- — *Aportación a la bibliografía del petróleo en España*, N. y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 15, Madrid, 1946.
- HEVIA, T.: *Pizarras bituminosas de la Sierra de Bodes (provincia de Oviedo)*, N. y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 12, Madrid, 1944.
- JORGE, E. DE: *Registros de petróleo en Santander*, «B. O. de Mineralogía y Metalurgia», núm. 88, pág. 966. Madrid, 1924.
- MARÍN, A.: *El petróleo en España*, Discurso de inauguración del curso académico en la Real Academia de Ciencias, Madrid, noviembre 1947.
- — *El petróleo en España*, Revista «Combustibles», núms. 41 y 42, Zaragoza, 1948.
- — *El problema del petróleo en España*, II Congreso Nacional de Ingeniería, Revista «Combustibles», núm. 241, Madrid, 1950.
- MAZARRASA, J. M.: *Estudio de las sustancias bituminosas de la provincia de Santander*, «B. O. de Minería y Metalurgia», núm. 75, 1923.
- — *Estudio de yacimientos petrolíferos y sustancias bituminosas*, «Catálogo Descriptivo de Criaderos Minerales de España», Consejo de Minería, t. 2, fasc. 20, Madrid, 1934.
- MIR, N.: *Estudio de la zona petrolífera del Pirineo catalán en las provincias de Barcelona y Gerona*, «B. O. de Minería y Metalurgia», números 49 y 50, Madrid, 1921.
- MONTESINOS, A.: *Los combustibles líquidos nacionales*, «Bol. del Instituto Geológico y Minero de España», t. LI, pág. 323, Madrid, 1929.
- NOVO DE P.: *La investigación del petróleo en la Península*, «Revista Minera», pág. 405, 1925.
- — *Les gisements de pétrole en Espagne*, Congreso Geológico Internacional, C. R. de la XII ses., fasc. tercero, pág. 1349, Leija 1926.
- O'SHEA, G.: *Informe del Instituto Geológico y Minero de España sobre las pizarras bituminosas de la provincia de Soria*, «Boletín Oficial de Minas», núm. 8, 1918.
- RÍOS, J. M.: *Las investigaciones del petróleo en España*, N. y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 19, Madrid, 1949.
- — *Breve noticia del estado actual de las investigaciones del petróleo en España*, VII Congreso Nazionale del Metano e del Petrólio, Sezione I, Palermo, 1952.

- — Comentarios al artículo de H. D. Hedberg: *Perspectivas petrolíferas mundiales desde un punto de vista geológico*, N. Y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 39, Madrid, 1955.
- — *Marcha de las investigaciones de petróleo en España, 1952-55*, «Revista Combustibles», año XV, núms. 78 y 79, Zaragoza, 1955.
- — *La búsqueda del petróleo en España*, «Minería y Metalurgia».
- — *The Search for Oil in Spain*, «World Petroleum», Nueva York, octubre, 1956.
- — *Recent petroleum activities in Spain*, «World Petroleum», página 53, Nueva York, marzo, 1958.
- — *Relación de los principales sondeos para investigación de petróleos llevados a cabo en España desde 1939*, N. Y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 50, 1958.
- — *Comentarios acerca de las consecuencias geológicas de los sondeos de investigación de petróleo*, «Min. y Met.», año XIX, número 214, Madrid, febrero 1959.
- — *Algunas consideraciones acerca del enjuiciamiento del Valle del Ebro en sus posibilidades petrolíferas*, N. Y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 53, Madrid, 1959.
- — *Problemas que plantea la investigación de petróleos en España*, «Revista ARBOR», núm. 160, Madrid, abril 1959.
- — *Algunas áreas especiales de las zonas sub-pirenaicas y de la cuenca del Ebro*, N. Y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, Madrid, 1960 (en prensa).
- — *Criterios cartográficos en prospección de petróleos*, Curso de petróleo de la Escuela de Minas, Madrid, 1960 (en prensa).
- — *Posibilidades petrolíferas del subsuelo español en su relación con el origen del petróleo y sus condiciones de yacimiento*, ed. Alhambra, Madrid, 1960.
- SANZ, R.: *El petróleo en España*, «Mem. del I. G. y M. de España», Madrid, 1948.
- — *Datos para el conocimiento de los yacimientos primarios de petróleo en las regiones ibero cantábricas*, «Bol. Inst. Geol. y Min. de España», t. LXIII, pág. 325, Madrid, 1949.
- SONDEOS (Comité Nacional de): *Catalogación provincial de los sondeos efectuados en España*, Madrid, 1929-32.
- VALLE DE LERSUNDI, A. DEL: *Investigaciones de petróleo en España*, «Revista Minera», t. LXXXV, Madrid, 1934.
- Varios autores: Núm. 38 de N. Y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, dedicado a las investigaciones de petróleos, Madrid, 1955.
- VIDAL, J. M.: *Yacimientos petrolíferos. Los afloramientos*, «Minería y Metalurgia», Madrid, 1923.

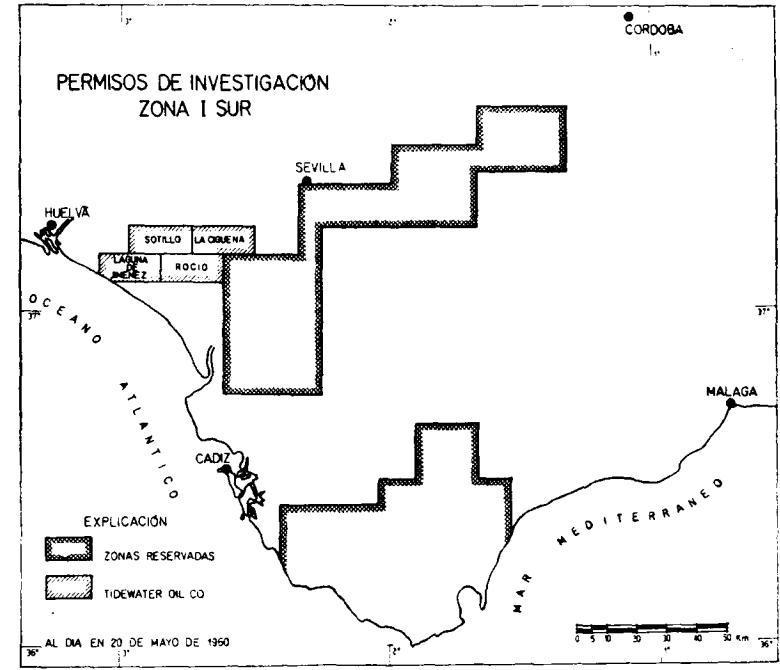


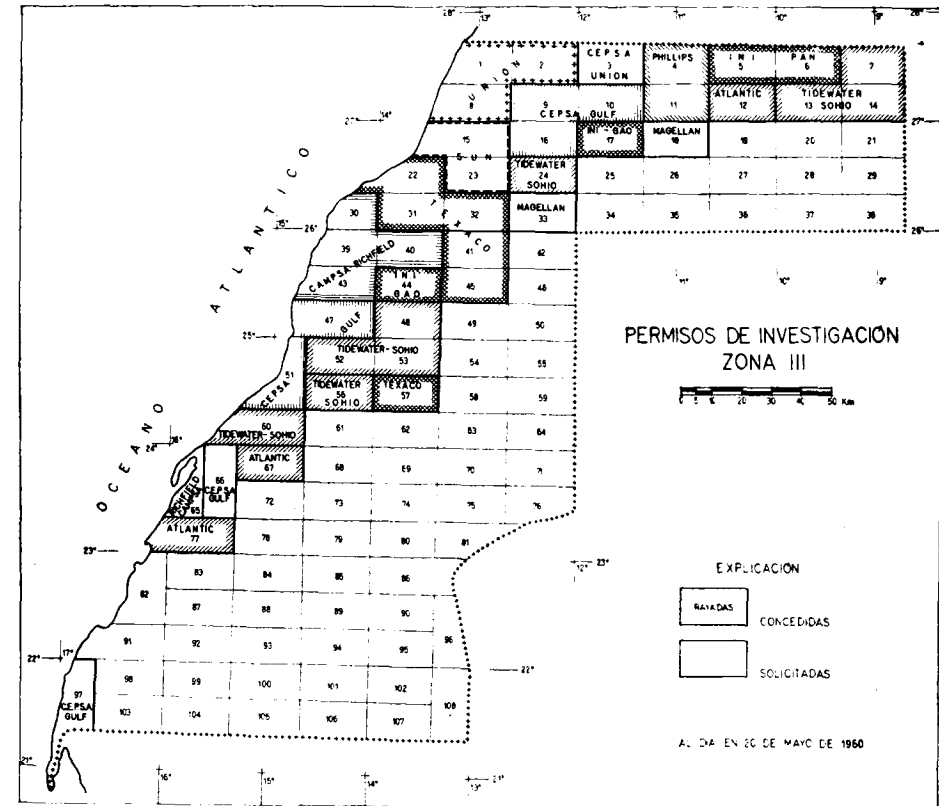
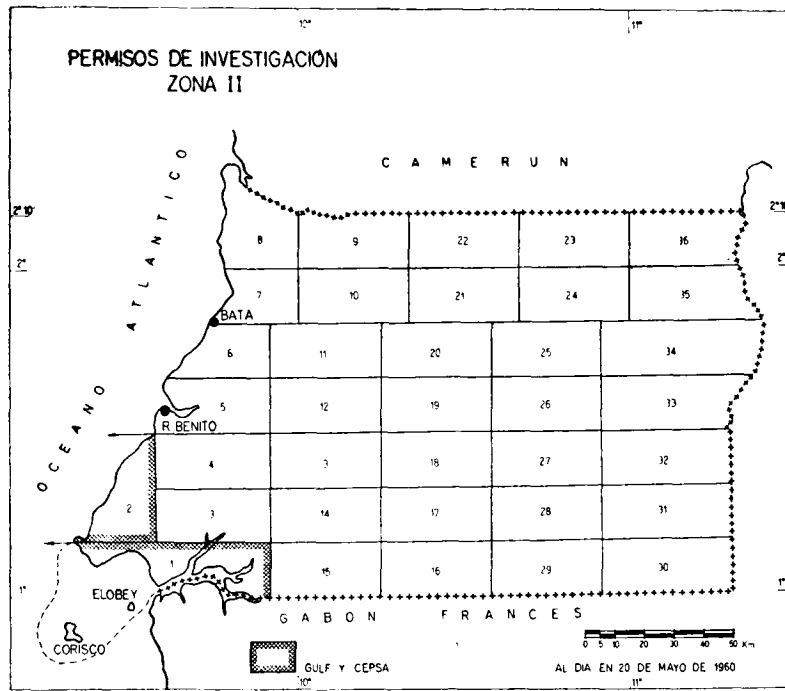


SITUACION APROXIMADA DE LOS PRINCIPALES SONDEOS LLEVADOS A CABO EN ESPAÑA
 PARA INVESTIGACION DE HIDROCARBUROS DESDE 1939
 (Para la situación exacta véase en el texto la relación de coordenadas)



NUM. DE ORDEN	SONDEO	PROVINCIA	COMPAÑIA Y NUMERO	EPOCA	RESULTADO	PROFUNDIDAD EN METROS
1	Tudanca	Burgos	CAMPSA, núm. 1	1941	Negativo	445
2	Zamanzas, 1	Burgos	CAMPSA, núm. 2	1942	Indicios (g, l)	602
3	Zamanzas, 2	Burgos	CAMPSA, núm. 3	1944	Indicios (g, l)	820
4	Zamanzas, 3	Burgos	CAMPSA, núm. 4	1945	Indicios (g, l)	860
5	Oliana	Lérida	CIEPSA, núm. 1	1947-48	Negativo	2223
6	Chiclana, 1	Cádiz	ADARO, núm. 5	1947	Indicios (g, l)	247
7	Peña Ortún	Burgos	CAMPSA, núm. 5	1949-50	Indicios (g, l)	1264
8	Burgo de Osma	Soria	CIEPSA, núm. 2	1949-50	Negativo	2212
9	La Marina	Alicante	CIEPSA, núm. 3	1950-51	Negativo	1610
10	Dobro	Burgos	CAMPSA, núm. 6	1951	Negativo	1221
11	Rojales	Alicante	CIEPSA, núm. 4	1952	Negativo	1582
12	Villanueva de Rempalay	Burgos	CAMPSA, núm. 7	1952-53	Indicios (g, l)	2177
13	Boltaña	Huesca	CIEPSA, núm. 5	1952-54	Negativo	2124
14	Baeza	Jaén	ADARO, núm. 1	1953	Indicios (g)	410
15	Marcella	Navarra	VALDEBRO, núm. 1	1953	Negativo	3415
16-18	Baeza-Bailén	Jaén	ADARO, núm. 2-4	1953-54	Indicios (g)	161-640
19	Délica	Vizcaya	CAMPSA, núm. 8	1953-54	Negativo	558
20	Castilfrío	Soria	VALDEBRO, núm. 2	1954	Negativo	2400
21	Zúñiga, 1	Navarra	CIEPSA, núm. 6	1955	(g)	3102
22	Chiclana, 2	Cádiz	ADARO, núm. 7	1954-56	Indicios (?)	1032
22'	Ecija	Sevilla	ADARO, núm. 5	1954-55	(g)	354
23	Apodaca, 1	Alava	CIEPSA, núm. 7	1955	Negativo	2535
24	San Lorenzo	Cuenca	VALDEBRO, núm. 3	1955	Negativo	2580
25	Iglesias	Burgos	VALDEBRO, núm. 4	1955-56	Negativo	2180
26	Puigregi	Barcelona	VALDEBRO, núm. 5	1956	Negativo	3192
27	Bornos	Cádiz	VALDEBRO, núm. 6	1956	Negativo	3027
28	Leva, 1	Burgos	CAMPSA, núm. 9	1956	Indicios	1512
29	Laño, 1	Burgos	CIEPSA, núm. 9	1956	Indicios (g, l, s)	3501
29'	Villalba del Alcor	Huelva	ADARO, núm. 7'	1956	Negativo	210
29''	Elvira, 1	Alava	C. PETR. IB., núm. 1	1956	Negativo	141
29'''	Elvira, 2	Alava	C. PETR. IB., núm. 2	1956	Indicios (g)	172
30	Matienzo	Santander	VALDEBRO, núm. 7	1956	Negativo	1950
31	Alda, 1	Alava	CIEPSA, núm. 8	1956-59	Indicios (g)	5029
32	Almarochal	Cádiz	VALDEBRO, núm. 8	1956-57	(g)	3465
32'	Elvira, 3	Alava	C. PETR. IB., núm. 3	1956	Indicios (g)	272
32''	Elvira, 4 a	Alava	C. PETR. IB., núm. 4	1956	Indicios (g)	340
33	Treviño, 1	Burgos	CIEPSA, núm. 10	1957	Indicios (g)	2595
33'	Elvira, 2 b	Alava	C. PETR. IB., núm. 5	1957	(g)	309
33''	Elvira, 4 b	Alava	C. PETR. IB., núm. 6	1957	Negativo	506
34	Medina Sidonia	Cádiz	ADARO, núm. 7	1957	Negativo	184
34'	Encarnación, 1	Burgos	C. PETR. IB., núm. 7	1957	Indicios (g, l)	439
35	Leva, 2	Burgos	CAMPSA, núm. 10	1957	Negativo	2219
36	Asperillo	Huelva	VALDEBRO, núm. 9	1957	Negativo	3307
37	Isla Mayor	Sevilla	VALDEBRO, núm. 10	1957	Negativo	2373
37'	Carmona, 1	Sevilla	ADARO, núm. 8	1957-58	Estratigráfico	792
38	Moguer	Huelva	VALDEBRO, núm. 11	1957	Negativo	2473
39	Almonte	Huelva	VALDEBRO, núm. 12	1957	Negativo	1344
40	Treviño, 2	Burgos	CIEPSA, núm. 14	1957-58	(g)	2000
41	Ojón	Cádiz	VALDEBRO, núm. 13	1957-58	Negativo	1751
42	Laño, 2	Alava	CIEPSA, núm. 12	1958	Indicios (g)	2195
43	Cerrogordo, 1	Cádiz	VALDEBRO, núm. 14	1958-59	Indicios (g, l)	3558
44	Quintana Redonda	Soria	VALDEBRO, núm. 15	1958	Negativo	1156
45	Treviño, 3	Burgos	CIEPSA, núm. 13	1958-59	Indicios (g)	3134
46	Gormaz	Soria	VALDEBRO, núm. 16	1958	Negativo	2200
47	Monegrillo	Zaragoza	VALDEBRO, núm. 17	1958	Negativo	1446
48	Pamplona, 1	Navarra	VALDEBRO, núm. 18	1958-59	Indicios (g, l)	2788
49	La Zaida	Zaragoza	VALDEBRO, núm. 19	1958	Negativo	1700
50	Carmona, 2	Sevilla	ADARO, núm. 9	1958	Negativo	583
51	Retuerta	Burgos	VALDEBRO, núm. 20	1958-59	Indicios (l)	3390
51'	Aloría, 1	Alava	C. PETR. IB., núm. 8	1958-59	Negativo	841
51''	Sopeñano, 1	Burgos	C. PETR. IB., núm. 9	1959	Negativo	510
52	Alloz	Navarra	CIEPSA, núm. 14	1959	Negativo	3231
53	Castilleja de la Cuesta	Sevilla	ADARO, núm. 10	1959	Indicios (g)	937
54	Guernica	Vizcaya	CAMPSA, núm. 11	1959	Negativo	1640
55	Pamplona, 2	Navarra	VALDEBRO, núm. 21	1959	Negativo	1810
56	Cerrogordo, 2	Cádiz	VALDEBRO, núm. 22	1959	Negativo	3377
56'	Elvira, 5	Alava	C. PETR. IB., núm. 10	1959	Negativo	648
57	Salteras, 1	Sevilla	ADARO, núm. 11	1959	Indicios (g)	665
57'	Sopeñano, 2	Burgos	C. PETR. IB., núm. 11	1959	Negativo	405
58	Carmona, 3	Sevilla	ADARO, núm. 12	1959	Negativo	908
59	Monesma	Huesca	VALDEBRO, núm. 23	1959-60	Negativo	4750
59'	Lahoz, 1	Alava	C. PETR. IB., núm. 12	1959	Negativo	701
60	Urbasa	Alava	CIEPSA, núm. 15	1959	Indicios (g, l)	3400
61	Carmona, 4	Sevilla	ADARO, núm. 13	1959	Negativo	1232
61'	Sopeñano, 3	Burgos	C. PETR. IB., núm. 13	1959	Negativo	1913
62	Pamplona, 3	Navarra	VALDEBRO, núm. 24	1959	(g, g)	3755
62'	Tabliega, 1	Burgos	C. PETR. IB., núm. 14	1959	Negativo	482
63	Castillo, 1	Alava	CIEPSA, núm. 16	1959	(g, g, g)	2750
64	Zuñia	Navarra	CIEPSA, núm. 17	1960	↓	↓
64'	Sopeñano, 4	Burgos	C. PETR. IB., núm. 15	1960	Indicios	1310
65	Carmona, 5	Sevilla	ADARO, núm. 14	1960	(g, g)	845
66	Bujaraloz	Zaragoza	VALDEBRO, núm. 25	1960	↓	↓





MARLAND P. BILLINGS
Dept. of Geology, Harvard Univ. Cambridge, Mass.

DIASTROFISMO Y FORMACIÓN DE MONTAÑAS (1)

«The Geological Society of America» es una sociedad científica, no utilitaria, que tiene por objeto promover el estudio, conocimiento y avance de la ciencia geológica en general, y de los problemas geológicos de los Estados Unidos de América en particular. Reúne como asociados a geólogos americanos y de otros países, una vez aprobada y publicada su solicitud de admisión. Tiene como publicación básica y periódica su *Bulletin* mensual, cuyo precio de suscripción anual es de 15 dólares, y publica además una serie de tomos y trabajos especiales, de gran interés, cuya lista aparece mensualmente en cada Boletín. Su dirección es 419 West, 117 th St. New York 27, N. Y. EE. UU. A.

RESUMEN

El uso de los términos *orogénia* y *formación de montañas* ha sido tan laxo, durante tantos años, que dichos vocablos han acabado por no tener significado definido. Como consecuencia de esta falta de precisión, las hipótesis acerca del diastrofismo se basan, con frecuencia, en premisas falsas.

Los plegamientos y acabalgamientos, a los que corrientemente se hace referencia con las designaciones de *tectogénesis* u *orogénesis*, es en las rocas estratificadas donde mejor se manifiestan. Algunos geólogos creen que los pliegues y acabalgamientos son debidos a movimientos verticales.

(1) El título original de este trabajo es *Diastrophism and Mountain Building*. Apareció en el «*Bulletin of the Geological Society of America*» (vol. 71, pp. 363-398), de abril de 1960, y es el discurso de despedida del autor como Presidente de la Sociedad. La traducción ha sido hecha directamente del inglés por J. M. Ríos, mediante la debida y amable autorización de autor y editores.

acompañados por extensión lateral; que los estratos experimentan estiramiento proporcionado a la intensidad del plegamiento y que los extremos opuestos del paquete sedimentario no experimentan desplazamiento uno contra otro. La mayor parte de los geólogos, sin embargo, están de acuerdo en que durante el plegamiento y acabalgamiento, los estratos se acortan, y que los dos lados opuestos del paquete sedimentario avanzan uno contra otro en medida proporcionada a la intensidad del plegamiento. Pero no resulta claro cuál sea la proporción en que la corteza entera queda acortada dentro de la faja deformada. En el caso de la opinión más extremada, los dos lados opuestos de la banda deformada no se desplazan uno contra otro, y los pliegues y acabalgamientos resultan como consecuencia de deslizamiento gravitativo. En el polo opuesto de las opiniones extremas, se cree que toda la corteza queda acortada en la misma medida que los estratos sedimentarios.

Un ejemplo excelente de amplios movimientos verticales (epirogénesis), sobre el que nunca se ha hecho suficiente hincapié, es el de Norteamérica oriental, e incluye los Appalaches, la Llanada Costera, y el Zócalo Continental. Durante el Mesozoico y Cenozoico, la superficie de Fall-Line estaba deprimida, por lo menos, a 20.000 pies por debajo del Zócalo Continental, mientras que después se alzó, por lo menos, a 8.000 pies por encima de los Appalaches. Los dos tercios del noroeste de Appalaches-Ouachita se está alzando desde el Jurásico, mientras que el tercio suroeste está descendiendo. Por esto, los Appalaches actuales no muestran conexión alguna con respecto al último plegamiento paleozoico. Algunos minerales metamórficos —tales como la cianita— o algunas asociaciones metamórficas —tales como la jadeita y el cuarzo—, se forman bajo presiones confinantes, que se logran sólo a profundidades de decenas de millas, lo que implica erosiones tremendas en el caso de que tales minerales o asociaciones queden puestas de manifiesto en afloramientos en la superficie.

La existencia de amplios movimientos verticales, acompañados por fallamientos de gran ángulo, queda ilustrada por las montañas en bloques-falla de la región de Basin y Range y por rasgos morfológico-estructurales, tales como la fosa del Rhin y los valles de desgarre (Rift Valleys) africanos.

Aunque sea conocida la naturaleza del desplazamiento a lo largo de la falla de San Andrés, desde hace más de cincuenta años, sólo en décadas recientes se han reconocido otras grandes fallas, cuyo resbalamiento tiene lugar también en el sentido de rumbo. En cambio, ahora se ha puesto de moda atribuir toda clase de fallas, incluso las no existentes, a la categoría de las de desplazamiento al rumbo. Los sísmólogos han subrayado, en años recientes, la importancia de este tipo de fallas. El autor hace la sugerencia de que los terremotos del valle de Fairview-Peak-Dixie-Valley, Nevada manifiestan evidencia de cómo los desplazamientos en el sentido del rumbo están invadiendo un área hasta ahora caracterizada por estructuras del tipo Basin-Range. La información geológica registrada indica que grandes fallas, cuyo salto es a lo largo del rumbo, han estado reconociblemente subordinadas a fe-

nómenos de plegamiento, amplios movimientos verticales, y movimientos amplios verticales acompañados por fallamientos de gran angularidad.

En los años últimos, se ha puesto gran énfasis en la idea de que exista un posible desplazamiento de la corteza, o de toda la Tierra, con respecto a su eje de rotación. La deriva continental, si es que realmente tiene lugar, sería un movimiento de ese tipo, y otro sería el deslizamiento de toda la corteza sobre el manto. Igualmente se ha llevado a cabo, en los últimos años, intensa investigación acerca del paleomagnetismo, pero los datos son demasiado escasos y contradictorios para poder llegar mediante ellos a conclusiones definitivas.

Entre las posibles causas de diastrofismo se cuentan: 1.º Contracción de la Tierra. 2.º Corrientes de convección. 3.º Formación de grandes bolsas de magma. 4.º Escape de material sílico por fuera del manto. 5.º Conversión de síal en manto, mediante cambio de minerales de baja a alta presión, o viceversa, y 6.º Serpentinización o deserpentinización de la parte superior del manto.

La formación de montañas constituye, meramente, una manifestación de movimientos verticales de la corteza, aunque durante el pasado la formación de montañas se haya considerado erróneamente, por muchos, como efecto primario de plegamientos y acabalgamientos. Es bien cierto que muchas cadenas modernas son consecuencia de alzamientos verticales, sin relación alguna con plegamientos. Muchos de estos alzamientos van acompañados de fallamiento gran-angular, cuyo resultado es la formación de montañas del tipo bloque-falla. Los bloques comprendidos entre fallas de deslizamientos al rumbo (salto horizontal), pueden resultar estrujados hacia arriba si los bloques se desplazan uno contra otro. Los alzamientos de montañas pueden ser consecuencia también de plegamientos y acabalgamientos. Inversamente, hay algunas bandas de plegamiento en que la erosión parece haber sostenido el mismo ritmo que el alzamiento de los pliegues, de modo que no se llegaron a desarrollar sistemas de montañas.

ABSTRACT

For many years the terms orogeny and mountain building have been used so loosely that they no longer convey definite meanings. Because of this lack of precision, hypotheses of diastrophism are often based on false premises.

Folding and thrusting, often referred to as tectogenesis or orogeny, is best displayed by stratified rocks. Some geologists believe that folds and thrusts are due to vertical movements accompanied by lateral spreading, that the strata are stretched an amount commensurate with the intensity of the folding, and that the opposite sides of the sedimentary packet do not move toward each other. Most geologists, however, agree that during folding and thrusting the strata are shortened and that the two opposite sides of the sedimentary packet move toward each other

by an amount commensurate with the intensity of the folding. But it is not clear to what extent the entire crust in the deformed belt do not move toward each other, and the folds and thrusts result from gravity sliding. At the other extreme, the entire crust is believed to be shortened to the same extent as the sedimentary strata.

An excellent example of broad vertical movements (epeirogenesis) that has never been sufficiently emphasized is in eastern North America, involving the Appalachians, Coastal Plain, and Continental Shelf. During the Mesozoic and Cenozoic the Fall-Line surface was depressed as much as 20,000 feet beneath the Continental Shelf, whereas it was uplifted at least 8000 feet over the Appalachians. The northeastern two-thirds of the Appalachian-Ouachita belt has been going up since the Jurassic, whereas the southwestern third has been going down. Thus the present Appalachians are unrelated to the late Paleozoic folding. Certain metamorphic minerals—such as kyanite— or certain metamorphic assemblages—such as jadeite and quartz— form at confining pressures found only at depths of tens of miles, implying tremendous erosion wherever such minerals or assemblages are exposed.

Broad vertical movements, accompanied by high-angle faulting, are illustrated by the fault-block mountain of the Basin and Range Province and by such features as the Rhine graben and the Rift Valley of Africa.

Although the nature of the displacement along the San Andreas fault has been known for more than 50 years, only in recent decades have other large strike-slip faults been recognized. But it is now the fad to assign all kinds of faults and even nonexistent faults to the strike-slip category. In recent years seismologists have emphasized the importance of strike-slip faults. The author suggests that in the Fairview Peak Dixie Valley, Nevada, earthquakes there is evidence that strike-slip movements are invading an area previously characterized by Basin Range structure. The geologic record indicated that large strike-slip faults have been distinctly subordinate to folding, broad vertical movements, and broad vertical movements accompanied by high-angle faulting.

Possible displacement of the crust or the entire earth relative to the axis of rotation has been emphasized in recent years. Continental drift, if it occurs, is one such type of movement. Slipping of the entire crust over the mantle is another. Much has been accomplished in paleomagnetism in recent years, but the data are too scanty and conflicting to permit any definite conclusions.

Among the possible causes of diastrophism are (1) contraction of the earth, (2) convection currents, (3) formation of large pockets of magma, (4) sialic material leaking out of the mantle, (5) conversion of sial to mantle by change of low-pressure minerals to high-pressure minerals, or the reverse, and (6) serpentinization or deserpentinization of the upper part of the mantle.

Mountain building is merely one manifestation of vertical movements of the crust. In the past mountain building has been erroneously considered by many to be primarily the result of folding and thrusting. Certainly many modern ranges are the result of vertical uplift unrelated

to folding. Many such uplifts are accompanied by high-angle faulting to produce fault-block mountains. Blocks caught between strike slip faults may be squeezed upward if the blocks move toward each other. Mountainous uplifts have also resulted from folding and thrusting. Conversely, in some folded belts erosion appears to have kept pace with the rise of the folds so that no mountain developed.

INTRODUCCIÓN

«Diastrofismo es un término general que expresa el proceso, o procesos, de deformación de la corteza terrestre. Son productos del diastrofismo los continentes, mesetas y montañas, valles y lechos oceánicos, fallas y pliegues» (Gilbert, 1890, pág. 3). Procesos geológicos contrastantes con aquél, aunque relacionados, son el vulcanismo (incluyendo ambas, extrusiones e intrusiones), erosión y sedimentación. Durante muchos años, el pensamiento de la profesión geológica ha resultado perjudicado por la aplicación de numerosos conceptos equivocados en lo referente al diastrofismo. Los términos orogenia y formación de montañas se emplean, con frecuencia, con tanta laxitud, que han llegado a carecer de significado. Las hipótesis acerca de la orogenia, de la formación de montañas y del diastrofismo, se ocupan, con frecuencia, de materias intrascendentes, mientras que no aciertan a ver y tratar las cuestiones de verdadera importancia. Se espera de este trabajo, por consiguiente, que introduzca claridad en los problemas del diastrofismo y la creación de montañas y sistemas montañosos.

Los profesores Francis Birch y John Miller tuvieron la amabilidad de leer un bosquejo de esta comunicación y aportaron sugerencias de gran valor para su mejora. Los profesores George C. Kennedy y León Knopff enviaron copias de manuscritos de sus trabajos con

anterioridad a la publicación de los mismos. El doctor Erwin Raisz tuvo la amabilidad de dibujar la mayor parte de las ilustraciones en una temporada en que estaba cargado de trabajo.

DIASTROFISMO

Tipos de diastrofismo

Discusión general.

La geología, durante muchos años, especialmente en los países de habla inglesa, ha renqueado con una doble clasificación del diastrofismo: epirogenia y orogenia.

Se está generalmente de acuerdo en que la epirogenia se refiere a movimientos verticales que afectan áreas del tamaño de continentes o partes de continentes (Gilbert, 1890, pág. 3, 340). Pero la orogenia, cuyo significado literal quiere decir «génesis de montañas», se ha utilizado con gran variedad de significados, debido ello en primer lugar a un falso concepto de cómo se forman las montañas. Como consecuencia de que la mayor parte de las cadenas de montañas se caracterizan por pliegues y, en muchos casos por cabalgamientos, se dió por sentado que los plegamientos y acabalgamientos producían las montañas. También era práctica corriente —en los Apalaches, por ejemplo—, completar en la imaginación los estratos, actualmente eliminados por la erosión, y suponer que las montañas originales se elevaban a alturas superalpinas.

La mayor parte de los geólogos emplean la voz orogenia más o menos en el mismo sentido en que lo hizo Upham (1894, pág. 383), quien dijo:

«Previamente habían entrado en uso los términos co-

rrelativos orogenia y orogénico, para denotar los procesos de formación de cadenas de montañas mediante pliegues, fallas, empujes de elevación y acabalgamiento, que afectan bandas comparativamente estrechas, a las que alzan en grandes dorsales.»

Más recientemente dijo Holmes (1945, pág. 106):

«...grandes movimientos formadores de montañas han mostrado especial actividad durante determinadas épocas de la historia de la Tierra, en el transcurso de las cuales las rocas de largas bandas de la corteza fueron intensamente comprimidas. Los movimientos tectónicos de esta clase, y también los cinturones plegados resultantes, se designan como orogénicos...».

Uno de los principales objetos de este trabajo es demostrar que muchas de las modernas cadenas montañosas no son resultado de plegamiento y acabalgamiento.

CUADRO 1
Procesos tectónicos (según Von Bubnoff)

Tectogénesis	Diastrogénesis	Epirogénesis
Amplitud lateral pequeña	Amplitud lateral media	Gran amplitud
Cambio estructural.....	Cambio estructural.....	Conservación de la estructura
Episódico	Episódico y secular	Secular
No reversible	Parcialmente reversible .	Reversible
No autónomo	No autónomo	Autónomo
Superficial.....	Profundo.....	Profundo

Los procesos diastrofícos han sido clasificados por Von Bubnoff (1954, pág. 49) en tres categorías (cuadro 1). El término epirogénesis ha sido empleado por Von Bubnoff más o menos en el mismo sentido que se

usa en Estados Unidos; se refiere a movimientos verticales lentos que afectan a áreas extensas. La tectogénesis se refiere a plegamiento y acabalgamiento; afecta a bandas relativamente estrechas de la Tierra, y es episódica e irreversible. En los Estados Unidos, la voz orogenia se emplea con frecuencia en el sentido de lo que Von Bubnoff denomina tectogénesis. Dictiogénesis —que en tra-

CUADRO 2
Procesos tectónicos (según R. A. Sonder)

Naturaleza de la actividad	Procesos principales	Resultados tectónicos
1. Orogénesis	Compresión lateral con formación de un exceso cortical local.	Alabeamiento, plegamiento, acabalgamiento.
2. Epirogénesis . . .	Movimientos verticales de la corteza, asociados a doblamientos corticales pero disociados de grandes cambios estructurales internos en la corteza.	Transgresión, regresión, formación de geosinclinales y geoanticlinales; los movimientos originan estratificación en los sedimentos.
3. Regmagénesis . .	Esfuerzos tangenciales en la corteza.	Causa de fracturas cortantes radiales, apertura de fracturas corticales con infiltración magmática; formación y retención de sistemas de fracturas regmáticas; desplazamientos horizontales a lo largo de fracturas de orden mayor.
4. Tafrogénesis . . .	Movimientos radiales de corteza a lo largo de fracturas empinadas.	Fallas verticales, formación de fosas (graben) y pilares (horsts), fallas en escalón, etc.
5. Forogénesis . . .	Desplazamientos tangenciales (de deriva) de la corteza sólida sobre la astenosfera.	Sin cambio visible tectónico en la corteza, pero con cambios en la latitud y longitud geográficas.
6. Pirogénesis . . .	Intrusión (plutonismo) y extrusión (vulcanismo) de magmas y derivados magmáticos.	Rocas intrusivas y diques, volcanes, erupciones de mesa, venas hidrotermales, manantiales termales.

ducción literal significa «estructura reticular»— se refiere a movimientos verticales que afectan a áreas de menor tamaño que las que definen los movimientos epirogénicos. Subraya Von Bubnoff que la dictiogénesis es un proceso diastrófico independiente, y no una variedad de cualquiera de los otros dos. Según él, la mayor parte de las cadenas modernas de montañas, tales como los Apalaches, Cadena Frontal de Colorado, Vosgos y Selva Negra, son consecuencia de dictiogénesis, y no resultado

CUADRO 3
Terminología para los diversos tipos de Diastrofismo

Terminología empleada en este trabajo	Terminologías equivalentes
Plegamiento y acabalgamiento	Tectogénesis, orogenia.
Movimientos verticales amplios	Epirogénesis, dictiogénesis.
Movimientos verticales amplios, acompañados de fallas gran-angulares	Tafrogénesis.
Desplazamientos mediante deslizamientos al rumbo de gran escala	Regmagénesis.
Deslizamiento de corteza sobre manto	Forogénesis.

directo de tectogénesis. Aunque sea meritoria la terminología de Von Bubnoff, Gilbert entendía (1890, página 340), que el término epirogénesis debería aplicarse a lo que se había denominado dictiogénesis. Dice: «La concavidad de la Depresión de Bonneville, en la que se ha constituido un área de drenaje interno, es epirogénica».

Una clasificación más compleja de los procesos diastróficos fué hecha por R. A. Sonder (1956, pág. 13), como lo muestra el cuadro 2. Las compresiones en sentido horizontal, generadoras de pliegues y acabalgamien-

tos, se designan como orogénesis. A los movimientos verticales, que afectan áreas extensas y que traen consigo deformaciones alabeadas, sin fallamiento, se les denomina epirogénesis. Si además traen como consecuencia la constitución de fallas gran-angulares, el proceso se designa como tafrogénesis. La expresión regmagénesis fué introducida por Sonder (Sonder y Vening Meinesz, 1947, pág. 939), para designar grandes fracturas empinadas, cuyo desplazamiento o salto, si tuviera lugar, se desarrolla a lo largo del rumbo. La forogénesis se refiere al deslizamiento de la corteza sobre el manto, bien en su totalidad o en forma fragmentaria, como ocurre en el caso de la deriva continental.

Aunque puede haber alguna ventaja en emplear la terminología basada en las raíces griegas, caso de que se apliquen las voces usadas por Von Bubnoff y Sonder, el autor prefiere el uso de la terminología inglesa que se muestra en el cuadro 3.

Plegamiento y acabalgamiento.

Nos ocuparemos, en esta parte del trabajo, de los pliegues, sistemas de pliegues, fallas cabalgantes y acabalgamientos. Este es el tipo de diastrofismo que denominó tectogénesis Von Bubnoff (1954), y al que se refirió R. A. Sonder (1956) como orogenia, término usado también por otros muchos en este país. Se conocen ejemplos de pliegues y cabalgamientos, con ellos relacionados, en todo el mundo. La figura 1 muestra la estructura de la zona de Valley y Ridge en los Appalaches (Cooper, 1944). La figura 2 representa la estructura de las montañas del Jura (Heim, 1919, vol. I, lám. XXIII). La figura 3 muestra los grandes cabalgamientos de la zona de Glarus, en los Alpes (Oberholzer, 1933).

Se está de acuerdo, en general, pero no universalmente, en que tales pliegues implican acortamiento, por lo menos el de las rocas visibles, próximas a la su-

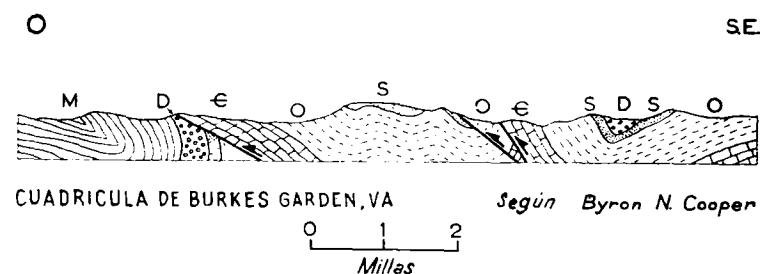


Fig. 1.—Estratos plegados, y afectados por fallas cabalgantes, en la región de Valley y Ridge.

E = Cambriano.—O = Ordovicense — S = Siluriano — D = Devoniano — M = Missisippiense. Los símbolos empleados para los diversos sistemas no arrastran forzosamente consigo significado litológico alguno.

perficie de la Tierra (fig. 4). El acortamiento, s , en millas o kilómetros, es la diferencia entre la anchura original del paquete de sedimentos (x en la fig. 4) y la anchura que



Fig. 2. Estratos plegados, y afectados por fallas cabalgantes, en las montañas del Jura.

Tr = Triásico — J = Jurásico — K = Cretáceo. Los símbolos empleados para los diversos sistemas no llevan forzosamente consigo significado litológico alguno.

presenta con posterioridad al plegamiento (representada por y), la proporción del acortamiento con respecto a la anchura original es: $\frac{s}{x} = x - \frac{y}{x}$. El acortamiento, ex-

presado en forma de porcentaje de la anchura inicial, es de $100(x - y)/x$.

En las diferentes partes de la zona de Valley y Ridge, el acortamiento se extiende desde 0 hasta 40 p. c.; el promedio es de 30 p. c. (Chamberlin, 1910; Cloos, 1940; Philip Fowler, 1948, Mem. de curso, Univ. de Harvard).

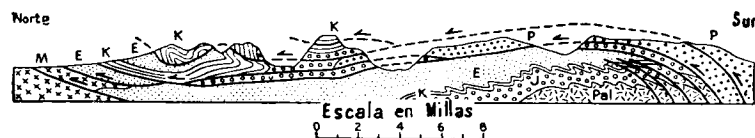


Fig. 3. — Cabalgamientos en la zona de Glarus, en Suiza.

Pal = Paleozoico = P = Permiano — T = Triásico y Jurásico — K = Cretácico — E = Eoceno — M = Mioceno (Según J. Oberholzer). Los símbolos empleados para los diversos sistemas no llevan forzosamente consigo significado litológico alguno.

El acortamiento calculado por Mansfield (1927, página 388), fué de 21 p. c. en el sureste de Idaho, sólo por plegamiento, pero llegó a resultados de 52,3 p. c. si el deslizamiento neto a lo largo del cabalgamiento de

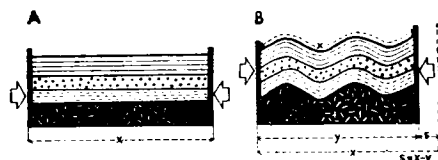


Fig. 4. - Plegamiento por compresión lateral.

A = Antes del plegamiento. B = Después del plegamiento. x = anchura antes del plegamiento. y = anchura después del plegamiento. $s = x - y$ = acortamiento en millas o kilómetros.

Bannock fuera de 12 millas. Fowler (1948), calculó un acortamiento de 25 p. c. para la Hoja de San Francisco (Lawson, 1914). El promedio para las montañas del Jura es de 33 p. c. (Heim, 1919, vol. I, págs. 649-651). El cálculo

lo de Chamberlin (1919), para las Rocosas del Colorado, fué de 8 p. c., pero se sabe ahora que la estructura es allí más compleja de lo que él supone. La cifra más moderada para los Alpes, según Heim (1921, vol. II, página 46-51), supone que 385 Km. de la corteza acortaron por compresión a 135 Km., lo que arroja un acortamiento de 250 Km., o sea de 65 p. c. Una cifra más reciente, enunciada por Cadish (1946), expresa que 360 kilómetros estrecharon a 150 Km., lo que corresponde a un acortamiento de 480 Km., o sea de 76 p. c.

¿Cuál será la magnitud del acortamiento experimentado por la totalidad de la corteza, en profundidad, hasta la discontinuidad de Mohorovičić? En los últimos años, cantidad de geólogos han insistido en el hecho de que plegamiento y acabalgamiento parecen estar limitados a la parte más alta de la corteza. Durante medio siglo, las Montañas del Jura (Billings, 1954, página 60), han sido consideradas como ejemplo de plegamiento superficial, en el que no ha tenido participación el basamento cristalino. Algunos han sugerido una hipótesis similar para la región de Valley y Ridge, en los Appalaches. Rodgers (1949, pág. 1653), refiriéndose de modo especial a los Appalaches meridionales, dice que algunos geólogos han razonado, apoyándose en la existencia de grandes fallas cabalgantes de baja angularidad presentes en el área... que las rocas paleozoicas... despegaron por completo del basamento y quedaron amontonadas contra la mesa, sólida y firme...».

Los Appalaches no pueden constituir un sencillo caso, en que los sedimentos paleozoicos resbalen sobre un basamento sólido y firme. El zócalo precambriano está complicado íntimamente en el plegamiento de zonas tales de los Appalaches como el Blue Ridge y las Green Mountains. Además, el contacto entre el Precambriano y el

Paleozoico, está constituido, en esta área, por un contacto discordante, y no por una superficie «cortante». Caso de que hubiera realmente despegue en los Appalaches, habría que buscarlo en los estratos cambrianos o silurianos (fig. 5). Podría ser que aflorase a la superficie en la parte oriental del corte, como se muestra en la figura 5, entre el Blue Ridge y el primer sinclinal al Noroeste

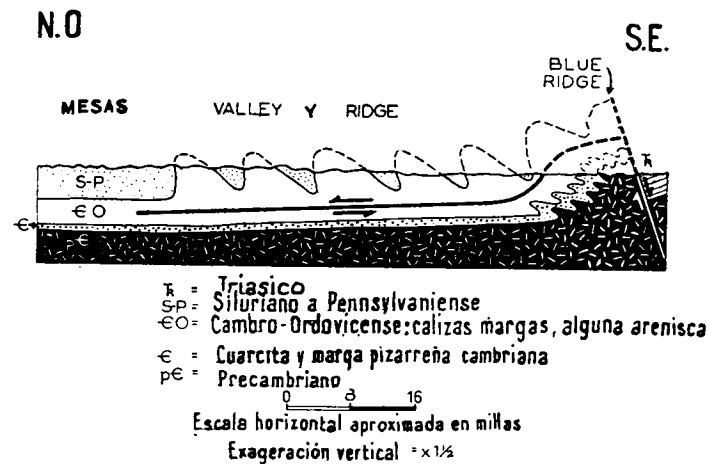


Fig. 5. — Posible despegue en la zona Appalache de Valley y Ridge.

que hunde el Siluriano, pero también es posible que no llegue a aflorar nunca a la superficie, y que pase bajo el Cambriano y el Precambriano del Blue Ridge.

El plegamiento superficial puede ser explicado de diversos modos. Uno de ellos se basa en experimentos llevados a cabo con cajas de presión, mediante algo que empuje un extremo de un paquete de sedimentos (Billings, 1954, pág. 227). Otra explicación reside en la hipótesis, tan en boga ahora, del resbalamiento gravitativo (de Sitter, 1956, págs. 266-291; Bucher (2) (1956).

(2) W. H. BUCHER: *Función de la gravedad en las orogénesis*, N. y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 46, Madrid, 1957. Trad. de J. M. Ríos, N. del T.

Como muestra la figura 6, los sedimentos situados en la parte alta de un área alzada resbalan sobre los flancos y se arrugan (Rich, 1951; Pierce 1957). De este modo, aunque las rocas del bloque deslizante experimentan acortamiento, no ocurre lo mismo con el basamento. Creen algunos geólogos italianos que hay masas de rocas que han viajado muchas decenas de kilómetros como resultado de un desplazamiento progresivo de la zona de alzamiento (3) (Maxwell, 1953; Billings, 1954, págs. 235).

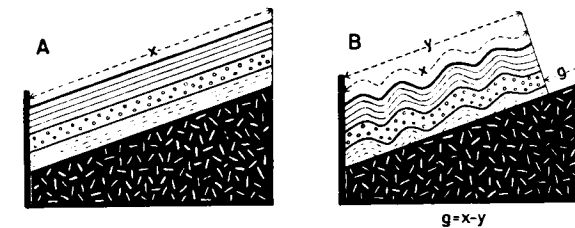


Fig. 6. — Plegamiento por deslizamiento gravitativo.

A = antes del deslizamiento. B = después del deslizamiento. x = anchura de los estratos con anterioridad al plegamiento. y = anchura del cinturón plegado después del deslizamiento. g = boquete abierto en la parte alta del bloque deslizado.

Pero el concepto de deslizamiento gravitativo no puede ser aplicado por doquier sin discriminación. Ya ha sido señalado que el basamento está íntimamente implicado en el plegamiento de los Appalaches. De manera semejante, el basamento cristalino participa en los grandes pliegues de las Rocosas del Colorado. Incluso en los Alpes, el basamento cristalino pre-trásico está implicado en los enormes anticlinales acostados en los mantos Peninos. En opinión de muchos, esto supone compresión

(3) Cuña compuesta, arrugada. Véase A. ALMELA y J. M. RÍOS: *Reseña de una excursión geológica al Apenino septentrional*, N. y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 31, Madrid, 1953, N. del T.

horizontal que afecta al basamento. Algunos defensores del deslizamiento gravitativo, sin embargo, como Van Bemmelen (1954, pág. 96), creen que el deslizamiento gravitativo no queda forzosamente confinado a la cobertura superficial de rocas sedimentarias. Según él, el basamento participa en el resbalamiento dermal, e incluso las partes más profundas de la corteza quedan afectadas por deslizamiento batidermal (fig. 7).

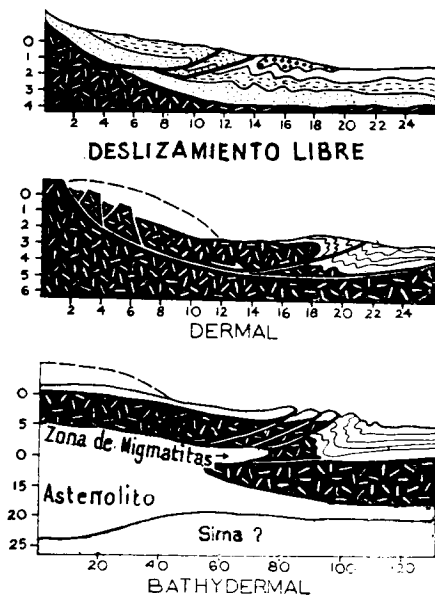


Fig. 7. —Algunos tipos de tectónicas gravitativas. Las distancias, en kilómetros. El fondo negro con trazas blancas representa el basamento. Según Van Bemmelen.

Hay dos cuestiones de orden mayor que aún no han sido resueltas en forma satisfactoria por los partidarios de los deslizamientos gravitativos extensos. Si las rocas son tan débiles que fluyen pendiente abajo como una pasta ¿cómo es posible que sustenten y retengan una topografía de montaña agreste? Además, ¿cuál ha de

ser la magnitud del ángulo de pendiente que permita el funcionamiento del deslizamiento gravitativo? Hay pocos datos disponibles acerca de esta cuestión. En casos como el de las Montañas del Jura, la pendiente de la supuesta superficie de resbalamiento se inclina en la actualidad hacia el Sur, mientras que, para explicar el movimiento, debería ofrecer su inclinación al Norte.

Llegamos a la conclusión, por consiguiente, de que la geología de campo nos muestra que el basamento cristalino participa con frecuencia en el plegamiento. Resulta claro que el plegamiento no queda limitado a la cobertura sedimentaria. Pero también resulta difícil aceptar la tesis de Van Bemmelen, según la cual el complejo de basamento pueda resultar tan débil que admita deformación mediante deslizamiento gravitativo. En general, el deslizamiento gravitativo queda limitado, con toda probabilidad, a la cobertura sedimentaria; donde quiera que el basamento queda implicado en el plegamiento, habrá que buscar el motivo en algún otro mecanismo distinto del deslizamiento gravitativo.

Si se acortase toda la corteza, dentro de una banda deformada, durante un plegamiento, debería constituirse una raíz, a menos que la deformación fuese tan lenta que un alzamiento y erosión contemporáneos impidiesen su desarrollo. La prueba geofísica de existencia de una raíz puede ser gravitativa (Daly, 1940), sísmica (Gutenberg, 1943, 1957) o geotérmica (Birch, 1950). Habría que subrayar, sin embargo, tres hechos: una raíz constituida en tiempos pasados mediante deformación, podría haber desaparecido en la actualidad; inversamente, la raíz existente bajo una moderna cadena de montañas, puede tener un origen reciente, e independiente del plegamiento; finalmente, la formación de una raíz puede ser debida a

un proceso que originase la raíz y, al mismo tiempo, el plegamiento.

Si se comprime la totalidad de la corteza con el mismo grado de extensión que los sedimentos del geosinclinal,

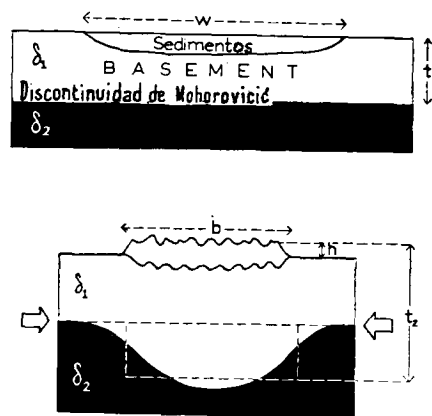


Fig. 8.—Relación existente entre el acortamiento, el espesor de la raíz y la altura de las montañas.

δ_1 = densidad de la corteza (basamento y sedimentos). δ_2 = densidad del manto. t_1 = espesor de la corteza con anterioridad al plegamiento. t_2 = espesor medio de la corteza, en el cinturón plegado, con posterioridad al plegamiento. h = altura promedio de las montañas.

nal, según muestra la figura 8, y si la deformación es muy rápida, con respecto a la erosión y alzamiento,

$$t_2 = \frac{t_1}{1 - p} \quad [1]$$

en que t_1 , es el espesor de la corteza con anterioridad al plegamiento, t_2 el espesor de la misma, en la banda deformada, después del plegamiento, y p es la relación de acortamiento con respecto a la anchura original —es decir, $x = y/x$ de la figura 4.

Si admitimos una isostasia perfecta y la flotabilidad

del bloque plegado, solamente un pequeño porcentaje del incremento en espesor está representado por un incremento en la altitud.

$$h = \left(\frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta_2} \right) (t_2 - t_1) \quad [2]$$

en que h es el incremento en altitud, δ_2 densidad de la materia sub-cortical y δ_1 la densidad de la corteza.

Consideremos ahora el caso de la región de Valley y Ridge en los Appalachés, conservando en la mente estas ecuaciones. En Pennsylvania occidental, la parte alta de las rocas pennsylvanienses, restauradas a su conformación original, en la zona de mesas («Plateaus»), es de unos pocos miles de pies por encima del nivel del mar (figura 9. A).

Pero en la región de Valley y Ridge, este mismo horizonte, si se restaura, se alza, sobre los anticlinales, a alturas de cinco millas por encima del nivel del mar, aunque quede próximo a él en algunos de los sinclinales más profundos. El alzamiento promedio de la parte superior del Pennsylvaniaense es de 2.5 millas. Se presume que las posiciones relativas de los estratos, en la zona de Plateaus y en la de Valley y Ridge, hayan sido características heredadas a partir de la revolución appaláchica.

Supongamos que las rocas más modernas estuviesen próximas al nivel del mar al comienzo del plegamiento; que el espesor de la corteza fuera de 18 millas (con inclusión de 5 millas de sedimentos paleozoicos), con anterioridad al plegamiento; que la densidad media de la corteza era de 2.7 y la del manto de 3.0; y que el acortamiento fué del 30 p. c. Si el plegamiento hubiera sido muy rápido, la corteza habría engrosado hasta alcanzar las 26 millas, de cuyo total 7.2 millas constituirían raíz, y la altura media de la masa terráquea por encima del ni-

vel marino sería entonces de 0,8 millas (fig. 9 B). Esta raíz quedaría eliminada eventualmente por alzamiento, pero en este caso los estratos de la margen oriental de las

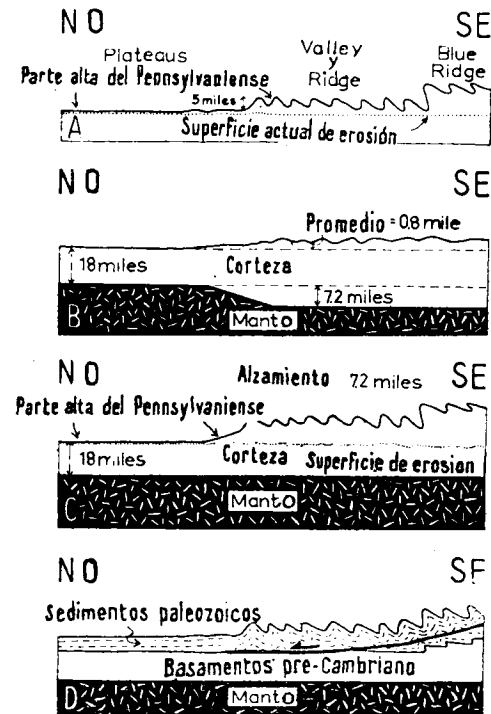


Fig. 9. —Plegamiento en la zona appalache de Valley y Ridge y en las Mesas Appalaches.

A = estructura actual. B = relaciones hipótéticas, que se presentarían inmediatamente después de ocurrido el plegamiento del Paleozoico Superior, en el caso de que se hubiese formado una raíz como consecuencia de compresión. C = relaciones hipótéticas una vez que la raíz ha sido eliminada por alzamiento y erosión. D = relaciones que existirían caso de que hubiera tenido lugar despegue y no se hubiera producido raíz.

Mesas («Plateaus»), serían arrastradas hacia arriba 7,2 millas (fig. 9 C), y las zonas de Valley y Ridge ascenderían en la misma medida. Incluso si el alzamiento fuese tan lento que impidiese la formación de una raíz, y aunque la

erosión impidiese la formación de topografía montañosa, los estratos de la margen oriental de los Plateaus serían gradualmente arrastrados hacia arriba en forma semejante. Pero el corte actual (fig. 9 A), sugiere que las hipótesis representadas en las figuras 9 B y 9 C., son incorrectas.

Veamos lo que ocurriría en el caso de un despegue en los Appalaches (fig. 9 D). El paquete de sedimentos, cuyo espesor original era de cinco millas, tendría un espesor de unas siete millas después de su acortamiento en un 30 p. c. Si durante el plegamiento no hubo lugar a erosión, la corteza quedaría engrosada en dos millas, la base de la misma descendería 1,8 millas, y el alzamiento promedio sería de 0,2 millas. Lo que no está de acuerdo con el alzamiento promedio mostrado en la figura 9 A, que es de 2,5 millas. Si la erosión hubiera llevado el mismo ritmo que el alzamiento, no habría habido desarrollo de incremento de carga en la corteza, su base no descendería, y no resultaría alzamiento neto. Tendríamos como resultado la figura que muestra 9 A.

El análisis que acabamos de hacer sugiere que la región de Valley y Ridge tiene por debajo un despegue, durante cuya formación hubo compensación entre los efectos contrarios de plegamiento y erosión y, por consiguiente, no se llegaron a formar montañas.

Para calcular la profundidad de plegamiento (Billings, 1954, págs. 60-62), en la zona de Valley y Ridge, se pueden aplicar los siguientes datos: anchura actual, 66 millas; anchura original, 94 millas (si se admite un acortamiento de 30 p. c.); y alzamiento promedio 2,5 millas (figura 9 A. Véase también Chamberlin, 1910). La profundidad calculada de plegamiento resulta de 6 millas, que es esencialmente la misma que el espesor del conjunto paleozoico. Así es que los resultados concuerdan

con un despegue próximo a la base del conjunto sedimentario. El cálculo de Chamberlin (1910) arrojó un valor mucho más alto para la profundidad promedio de plegamiento, en parte porque empleó una cifra demasiado reducida para el acortamiento.

Así es que tenemos convergencia de diversas pruebas que apoyan la idea de que, en la zona de Valley y Ridge, el plegamiento quedó confinado a los sedimentos paleozoicos, mientras que la corteza más profunda quedó exenta (véase también Cloos, 1940, pág. 846). Incluso si el plegamiento de la región de Valley y Ridge resultase superficial, y consecuencia de deslizamientos gravitativos, no resultaría forzoso aplicar una hipótesis semejante a las demás regiones de los Highlands Appalaches.

Volvamos ahora, brevemente, nuestra atención a los Alpes. Tomemos, además, la cifra más moderada para el acortamiento, el 65 p. c. de Heim (Heim, 1921, vol. II, páginas 46-51). Si la corteza tenía 30 Km. de grosor, con anterioridad al plegamiento, su espesor después del mismo sería de 85 Km. y la altura de sus montañas sería de 5,5 Km. Pero en la actualidad la corteza bajo los Alpes tiene solamente 40 Km. de espesor (Daly, 1940). O, dicho en otras palabras, la raíz adicional bajo los Alpes es mucho más reducida que lo que podría esperarse a partir del acortamiento observado. Como veremos más adelante, otros sistemas de cadenas constituyen el caso inverso.

Hasta ahora hemos admitido, en forma tácita, que el plegamiento y acabalgamiento implicaban acortamiento de los estratos plegados, incluso aún en el caso de que el resbalamiento gravitativo, procedente de áreas alzadas, pueda constituir la causa fundamental de la deformación. Pero hay geólogos que ponen en duda si el

plegamiento y acabalgamiento arrastran forzosamente consigo algún acortamiento neto. Es decir, creen que los extremos opuestos del plegado paquete de sedimentos no han movido y avanzado uno contra otro. ¿Será posible que gran parte del plegamiento sea consecuencia directa de movimientos verticales? Prosigamos adelante con este problema.

Hay acuerdo general acerca de la opinión de que los domos salinos —por lo menos en sitios tales como la costa del Golfo de los Estados Unidos (Halbouty y Hardin, 1959) y del noroeste de Alemania (Richter-Bernburg y Schoot, 1959)—, se alzan a causa de la inestabilidad gravitativa de un estrato plástico de baja densidad, soterrado bajo rocas más pesadas (Nettleton, 1934). En general los sedimentos han de estar enterrados a 1.500 pies, por lo menos, si es que han de alcanzar la compacidad necesaria para llegar a ser más pesados que la sal de roca. (Carey (4), 1954, pág. 79). El que tal deformación deba ser clasificada como «orogénica» es puramente una cuestión de semántica. Ciertamente muchos geólogos considerarían este tipo de formación como «no orogénico»: esto resulta de su admisión tácita de que la «orogéni» es consecuencia de compresión horizontal.

La tectónica de los domos salinos demuestra que hay movimientos verticales que pueden convertirse en desplazamientos horizontales. Como ejemplo, podemos citar la cúpula salina de Wathlingen-Hänigsen, a 120 kilómetros al sur de Hamburgo, en Alemania (Bentz, (5) 1949, lám. II). De planta oval, tiene cerca de 4.000 metros de longitud en dirección norte-noreste y casi 2.000 me-

(4) S. W. CAREY. *El concepto de recodo en geotectónica*. N. Y. C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 47. Madrid, 1957. Trad. de J. M. Ríos. N. del T.

(5) A. BENTZ: *Petróleo en Alemania*. N. Y. C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 21. Madrid, 1950. Trad. de J. M. Ríos. N. del T.

tros de anchura. Como muestra la figura 10, existe una pronunciada expansión recubrente, bajo la cual un miembro desplomado de rocas triásicas caba'ga sobre el Cre-



Fig. 10.—Domo salino de Wathlingen-Hänigsen, en Alemania.
T_r = Triásico. J = Jurásico. K = Cretáceo. TQ = Terciario y Cuaternario.
Según Bentz.

táceo. La sal se alzó, en profundidad, como consecuencia de su mayor ligereza con respecto a los sedimentos circundantes. Cuando llegó a una mayor proximidad a la superficie, la sal, que entonces era más pesada que los sedimentos circundantes (Carey, 1954, pág. 79), se extendió lateralmente.

Sugirió Haller (1956) (6) que los grandes pliegues volcados de Groenlandia oriental pudieran no implicar acortamiento alguno neto; es decir, que los lados opuestos del paquete sedimentario no se movieron uno contra otro (figura 11). Dice Haller (pág. 159):

«Bajo la influencia de la granitización sinorogénica caledónica, una gruesa secuencia de sedimentos pre-cam-

(6) J. HALLER: *Problemas de la tectónica profunda. Formas estructurales en el Stockwerk de migmatitas de las caledonides de Groenlandia oriental*. N. Y C. DEL I. G. Y M. DE ESPAÑA, núm. 46, Madrid, 1957. Trad. de J. M. Ríos. N. del T.

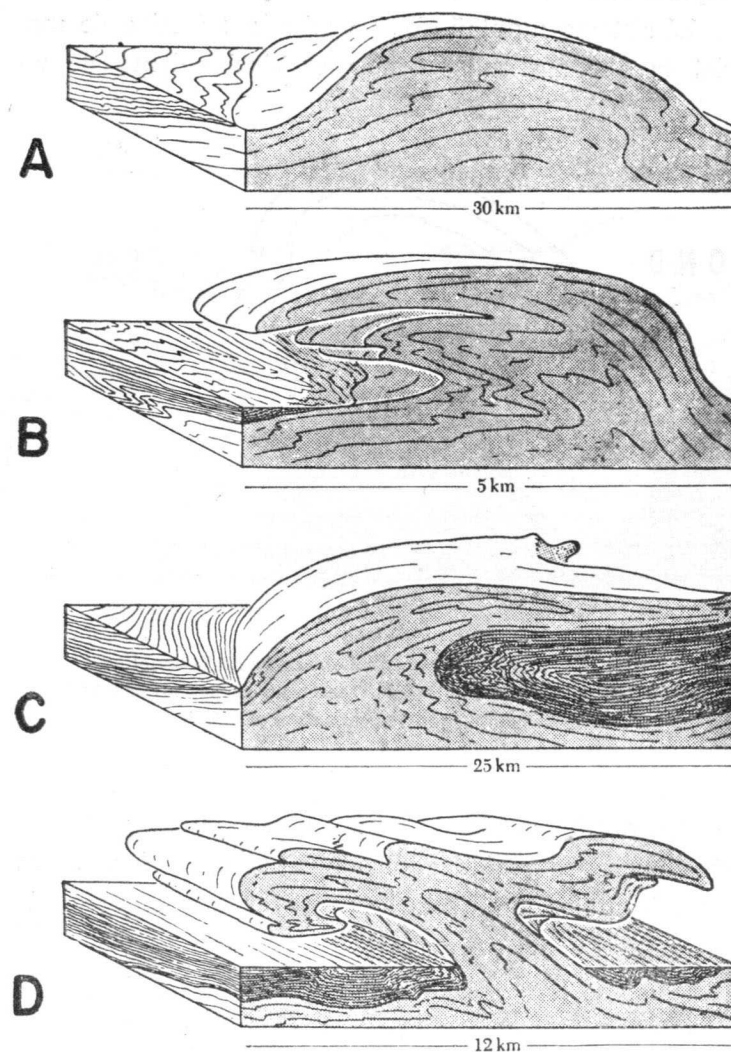


Fig. 11.—Estructura resultante como consecuencia de alzamiento vertical de migmatitas en Groenlandia oriental.
A = Domo. B = Zona frontal. C = Manto. D = Seta. Esquemático, con exageración de las escalas verticales. Gris claro = migmatitas. Gris oscuro = rocas metamórficas. Según J. Haller.

brianos del Este de Groenlandia resultó plegada, y quedó completamente transformada en las partes más profundas del sistema montañoso. La adición selectiva de material tuvo como consecuencia el hinchamiento de un

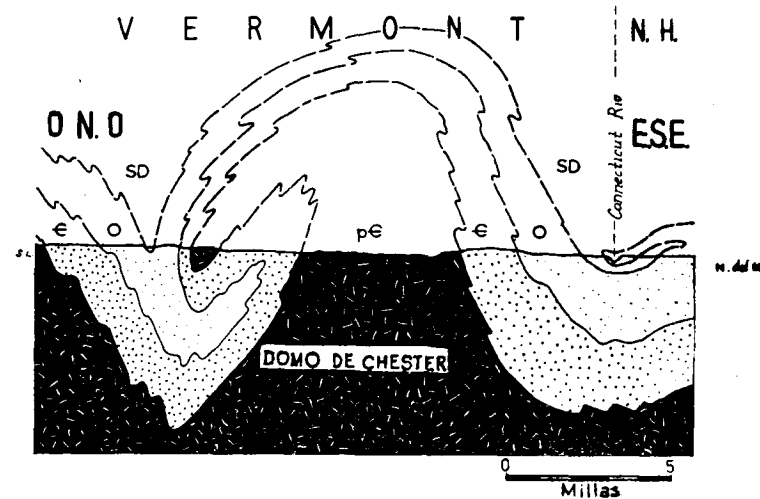


Fig. 12.—Domo de Chester, en el sureste de Vermont.
p € = Precambriano. € = Cambriano. O = Ordovicense. SD = Siluriano y Devoniano. Según Thompson y Rosenfeld.

área central, hasta formar domos y estructuras volcadas. Estos cuerpos, granitizados «in situ» y de formas en domos frontales, o en seta, constituyeron la totalidad de la parte activa del orogeno.»

Incluso se ha sugerido que algunos de los domos de la región Appalache y pliegues con ellos emparentados, sean debidos a movimientos verticales análogos al alzamiento de domos salinos. En Vermont oriental, Thompson y Rosenfeld, han indicado que el domo de Chester (fig. 12), ha sido consecuencia del alzamiento vertical de un núcleo plástico (Billings, Rodgers y Thompson, 1952). Pero estudios recientes de Rosenfeld (comuni-

cación personal), muestran que estos movimientos verticales fueron precedidos por pliegues volcados, indicativos de movimientos horizontales de monta.

Carey (1954, pág. 67), dice: «La extrema deformación universal de los neis arcaicos, que se considera ge-

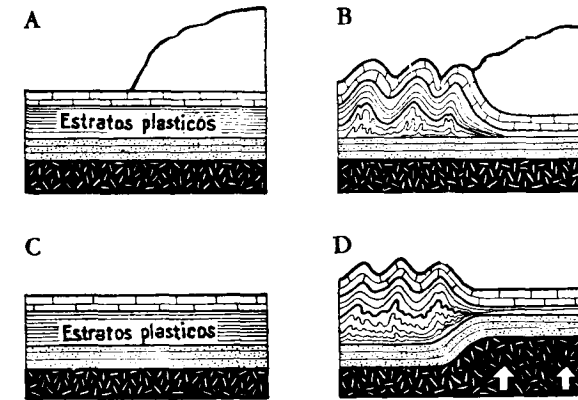


Fig. 13.—Plegamiento por inyección.
A y B = presión dirigida hacia abajo como consecuencia de suplemento de carga. C y D = presión dirigida hacia arriba como consecuencia de alzamiento local del basamento. Según Beloussov.

neralmente como una demostración de acortamiento intenso, no implica necesariamente mucho acortamiento».

Sugiere Beloussov (1959) que gran parte de los fenómenos de plegamiento, incluso los de los tipos alpino y appalache, es consecuencia directa de movimientos verticales. Reconoce tres tipos de plegamiento: plegamiento por inyección, plegamiento en bloque, y arrugamiento general. Algunos ejemplos de estos tipos de plegamiento vienen representados en los diagramas que acompañan.

El plegamiento mediante inyección exige la existencia de un lecho plástico comprendido entre lechos más com-

petentes. En uno de los tipos de plegamiento por inyección (figs. 13 A y 13 B), la existencia de una carga en parte de determinada área, es causa de hundimiento, y de este modo el material del lecho incompetente es obligado a fluir en forma plástica hacia otra área. En otro tipo de plegamiento por inyección (figs. 13 C y 13 D), el paquete más plástico, ubicado en la cima de un anticlinal surgente, es estrujado hacia el sinclinal.

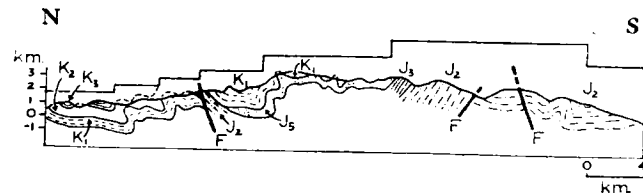


Fig. 14.—Plegamiento por bloques. Montañas del Cáucaso, zona de Noukha. J₁, J₂, J₃ = Jurásico K₁, K₂, K₃ = Cretáceo. F = fallas. Los símbolos empleados para las diversas formaciones no arrastran forzosamente consigo significado litológico alguno. La línea superior limitrofe muestra el carácter escalonado de la estructura. Según Belousov.

El plegamiento en bloque se ilustra mediante un corte (fig. 14), trazado en la ladera meridional de la zona Sureste del cordal principal del Cáucaso (Belousov, 1959, página 5). La idea de que la estructura es consecuencia de movimientos verticales, se basa en el hecho de que los pliegues se alzan en series de escalones, como se muestra en la parte superior del diagrama. En la extremidad suroeste de la misma zona pueden ser observados pliegues intensamente volcados (fig. 15).

Es parte importante de la teoría la idea de que un bloque, que se alza a lo largo de empinadas fallas o flexuras, puede extenderse lateralmente hacia, o sobre, el bloque deprimido.

Lo que Belousov denomina arrugamiento general, resulta en el caso de que haya un gran desarrollo de

esparcimiento lateral (fig. 16). Los dos extremos opuestos del cinturón plegado no se han desplazado uno contra el otro. La distancia, medida a lo largo de los lechos es, sin embargo, mucho mayor que la que tenía con anterioridad a la deformación. Los lechos han quedado estirados (Belousov, 1959, pág. 17). Si este principio se aplicase a la zona de Valley y Ridge en los Apalaches, querría decir que los lechos han experimentado un estiramiento de 30 p. c.

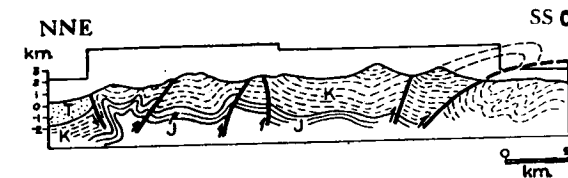


Fig. 15.—Plegamiento por bloques. Montañas del Cáucaso en la zona del monte Dibrar.

J = Jurásico. K = Cretáceo. T = Terciario. Las líneas gruesas representan fallas. Los símbolos empleados para las diversas formaciones no representan forzosamente significado litológico alguno. La línea superior limitrofe muestra el carácter escalonado de la estructura. Según Belousov.

Hay por lo menos cuatro pruebas que pueden ser aplicadas a las hipótesis de Belousov. Una de entre ellas se refiere a la extensión que pueda alcanzar el esparcimiento lateral. La tectónica de los domos salinos demuestra que, aunque hay movimientos verticales que pueden convertirse en empujes horizontales (fig. 10), el alcance o proporción son limitados. En áreas tales como la de Valley y Ridge, el diseño que ofrecen los pliegues se explica con facilidad mediante acortamiento y divergencia axial (Cloos, 1940), pero resulta muy difícil de explicar mediante movimientos verticales. En tercer lugar, la hipótesis, como reconoce explícitamente Belousov, implica un estiramiento de los lechos de hasta un 30 p. c.

Pero en muchos sitios, los fósiles, estratificación cruzada, huellas de cabrilleo, y otras características sedimentarias, no manifiestan huella alguna de tal estiramiento. En cuar-

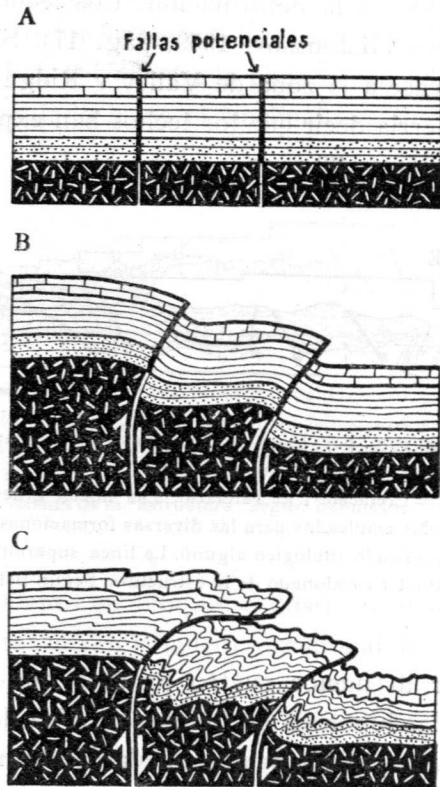


Fig. 16. —Plegamiento mediante alzamiento vertical y extensión lateral. A, B y C, representan estadios sucesivos del desarrollo del fenómeno. Los lechos representados en el diagrama inferior deberían ser más delgados que los del diagrama superior, de modo que el volumen total permanezca constante. Según Belousov.

to lugar, hay muchas bandas tectónicas en que el adiaclasamiento del plano axial tiene rumbos y pendientes relativamente uniformes, lo que se acopla a la idea de una fuerza regional de compresión, pero resulta difícil de

comprender si la compresión resultase, en forma incidental, consecuencia meramente de movimientos verticales.

Ahora estamos en condiciones de hacer un resumen de las diversas ideas que se han propuesto para explicar los plegamientos y acabalgamientos. La mayor parte de los

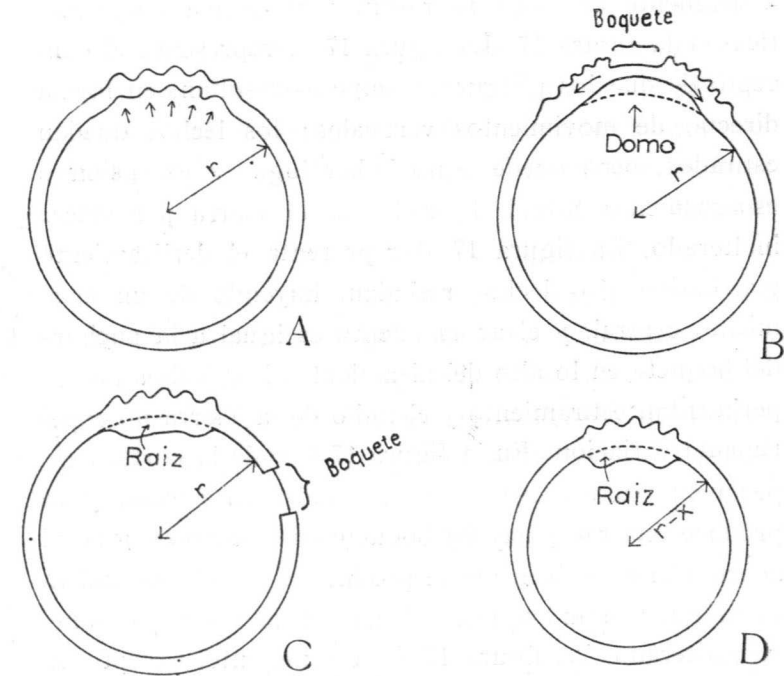


Fig. 17. —Efectos de los diversos tipos de plegamiento en los espesores y circunferencia de la corteza.

A = Alzamiento vertical, con o sin extensión lateral. B = Alzamiento vertical y deslizamiento gravitativo. C = Compresión horizontal, con formación de raíz, pero sin cambio en el radio de la Tierra. D = Compresión horizontal con formación de raíz debida a la contracción de la Tierra. r = Radio de la Tierra con anterioridad a la deformación; permanece sin variación en A, B, y C. x = Proporción en que queda reducido el radio; en D el radio nuevo es $r - x$.

geólogos están de acuerdo en que los estratos quedan acortados y, en que los extremos opuestos del paquete sedimentario se encuentran después más próximos, en pro-

porción comensurada a la intensidad del plegamiento y acabalgamiento. Pero algunos geólogos, y especialmente Belousov, no están de acuerdo con estas ideas. El grado en que la corteza toda pueda estar implicada en el acortamiento es ciertamente discutible. Las ideas actualmente en boga se resumen en forma diagramática en la figura 17. La figura 17 A representa el concepto de que los pliegues y empujes resultan, en forma directa, de movimientos verticales; los lechos quedan estirados, pero puede o no haber lugar a extensión o esparcimiento lateral. El radio de la Tierra permanece inalterado. La figura 17 B representa el deslizamiento gravitativo; los lechos resbalan, huyendo de un alzamiento central, y el acortamiento es igual a la anchura del boquete en lo alto del alzamiento. Los lechos no experimentan estiramiento y el radio de la Tierra no experimenta variación. En la figura 17 C toda la corteza experimenta acortamiento en la banda deformada, y se produce una raíz; hay un boquete en la corteza igual al acortamiento, o bien puede producirse un adelgazamiento en lugar de un boquete; el radio de la Tierra permanece inalterado. La figura 17 D es semejante, excepto en que el radio y la circunferencia de la Tierra han experimentado reducción; esta es la clásica hipótesis de la contracción.

Existe falta de acuerdo, desde luego, en la evaluación de estas diversas hipótesis. La mayor parte de los geólogos, sin embargo, estarían probablemente de acuerdo en que los tipos de pliegues que se encuentran en la zona de Valley y Ridge, en el Jura y los Alpes, son consecuencia de acortamiento, aunque pudieran no estarlo en sí el acortamiento afecta o no al espesor de la corteza. Varias directrices testimonian, sin embargo, que la

compresión horizontal, cuando implica también el basamento, es el principal factor o agente del plegamiento y empuje. El trazado largo, estrecho y sinuoso, de las bandas plegadas, junto con el hecho de que el basamento resulte con tanta frecuencia también afectado, es uno de los testimonios. Las observaciones de campo sugieren que no eran nada frecuentes las pendientes susceptibles de ocasionar deslizamiento gravitativo de alcance. El deslizamiento gravitativo, por importante que haya podido ser en algunos casos, es un proceso incidental. De la misma manera, el alzamiento vertical, de materiales plásticos, magmáticos y migmáticos, es también un proceso suplementario. Cuando el plegamiento va acompañado de alzamiento vertical, deberíamos considerar la posibilidad de que parte del alzamiento, o todo él, sea debido a otros procesos distintos de la surgencia de anticlinales o la formación de una raíz debida a acortamiento.

Movimientos verticales amplios.

Al estudiar los movimientos epirogénicos nos enfrentamos inmediatamente con un dilema: ¿Cuál es el plano de referencia cuando decimos que la Tierra se ha alzado o descendido? Por lo general, nuestra referencia es el nivel del mar. Sabemos, sin embargo, que la superficie del mar puede fluctuar muchos cientos de pies, como, por ejemplo, ocurrió durante el Pleistoceno (Kuenen, 1950, páginas 535-540; Flint, 1957, págs. 258-271). Las transgresiones y regresiones de los mares pueden ser consecuencia, o bien de movimientos verticales de la Tierra, o de desplazamientos verticales en el nivel del mar. De manera

semejante los ciclotemas del Paleozoico alto del Midwest, que indican cambios cíclicos de circunstancias marinas a no marinas, son prueba de una línea errática de costa (Wanless y Weller, 1932; Wanless, 1950; Moore, 1950). Las extensas y disecadas superficies de erosión, cuando no son climáticas, indican un rebajamiento relativo del nivel de base, que puede, o no, ser el nivel del mar.

Afortunadamente hay algunas pruebas que indican que era la corteza misma la que se alzaba o descendía. Una prueba convincente nos la ofrece el registro de circunstancias fijado por la sedimentación en los geosinclinales y cratones adyacentes. Muchos de estos sedimentos se sedimentaron en aguas someras, pero ofrecen un espesor mucho mayor en los geosinclinales que en el cratón. Esto evidencia que el basamento sobre el que se depositaron los sedimentos geosinclinales descendía con mucha mayor rapidez que el basamento situado bajo el cratón adyacente. Deformaciones de líneas de costa, tales como las cuaternarias de Escandinavia, sólo pueden ser explicadas mediante deformación de la corteza (Flint, 1957, págs. 240-257). Y sólo mediante alabeamiento puede explicarse igualmente la inclinación, aguas arriba, de algunas terrazas fluviales (Putnam, 1942). Estudios llevados a cabo en el delta del Mississipi muestran que ha experimentado un descenso de más de 500 pies, durante y con posterioridad al Cuaternario más moderno (Fisk y Mc. Farlan, 1955). Datos de reciente publicación, basados en estudios geodésicos llevados a cabo en la mitad occidental de la parte europea de la Unión Soviética, muestran que las diferentes partes de un bloque que se alza o descende, se mueven con velocidades diferentes (Meshcheryakov, 1959).

Como soberbio ejemplo de movimientos epirogénicos

podemos citar la historia de los Estados Unidos orientales durante el Mesozoico alto y el Cenozoico (fig. 18). Ello se refiere no solamente a los Highlands Appalachés, y a su prolongación suroeste hasta el Río Grande, sino

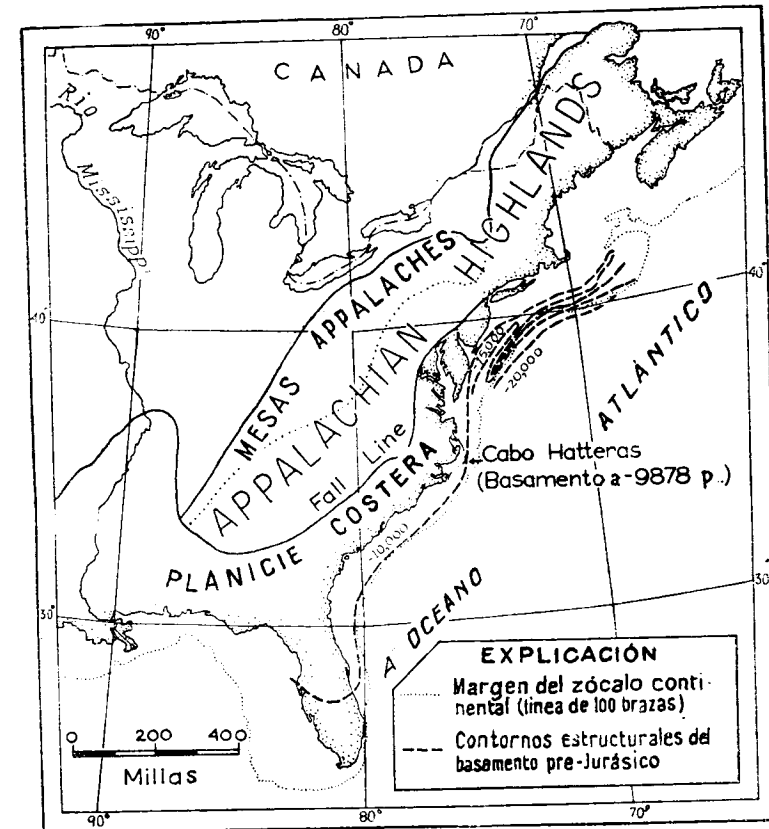


Fig. 18.—Mapa que muestra la deformación de la superficie de la Fall Line en Norteamérica oriental.

también a la Llanada Costera y al Zócalo Continental Atlántico.

Hace muchos años que se reconoció la existencia en los Appalachés de penillanuras levantadas y disecadas (Johnson, 1931). La superficie más alta, que en un prin-

cipio se dató como cretácea, se ha considerado como terciaria en tiempos más recientes. Tales superficies se han estimado como prueba de que durante el Terciario, los Appalaches se han levantado de 1.000 a 2.000 pies. Es cierto que, en años recientes, algunos geomorfólogos han expresado dudas acerca de la interpretación de la historia geomórfica clásica de los Appalaches (Hack, 1957, página 90).

Sin embargo, otra orientación de confrontación muestra que los Appalaches se han alzado miles de pies desde la mitad de la época mesozoica. Los sedimentos cretáceos, que actualmente quedan aflorantes en la superficie del terreno de la margen interna de la Llanada Costera, se depositaron sobre una superficie de erosión desarrollada en rocas cristalinas (fig. 18). Además, una perforación llevada a cabo en Cabo Hatteras, después de atravesar 9.878 pies de sedimentos cenozoicos, cretáceos y jurásicos (?), encontró las rocas cristalinas (Spangler, 1950, pág. 105; Swain, 1952). La parte alta de este conjunto cristalino corresponde a la misma superficie que está puesta de manifiesto en afloramiento en la margen interior de la Llanada Costera, aunque quedó inundada por mares mesozoicos transgresivos antes que en el Fall Line. Aunque es indudable que la superficie mesozoica de erosión tenía algo de pendiente, la mayor parte de la diferencia de altitud de los tiempos actuales debe atribuirse a movimientos diferenciales. Hay comprobación sísmica, obtenida 150 millas al norte de Cabo Hatteras, que muestra cómo esta superficie yace a más de 12.000 pies bajo el nivel del mar (Ewing, Worzel, Steenland y Press, 1950, lám. 6). Todavía más al norte y noroeste (fig. 18), esta superficie yace más de 20.000 pies por debajo del nivel del mar (Cohee, trabajo en prensa).

La mayor parte de los sedimentos de la Llanada Costera Atlántica está constituida por materiales clásticos obtenidos de los Appalaches. El espesor promedio de esta cuña, bajo la Llanada Costera, es de unos 5.000 pies (figura 19). El espesor medio de toda la cuña de sedimentos es incluso mayor hacia afuera, hacia el borde del zócalo continental. Puesto que la anchura media de aquella porción de los Appalaches que vierte su drenaje hacia

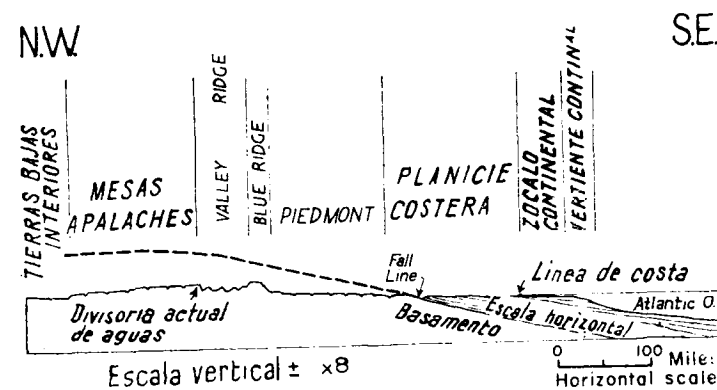


Fig. 19.—Corte que muestra la deformación experimentada por la superficie de la Fall Line en Norteamérica oriental.

la Llanada Costera no llega a ser tan grande como la anchura de la cuña de sedimentos, quiere esto decir que, como promedio, más de 5.000 pies de rocas han sido erosionados de los Appalaches a partir de la mitad del Mesozoico. Aunque esto no pase de ser una apreciación, sujeta a muchas correcciones de orden menor, no deja de ser, indudablemente, del orden auténtico de magnitudes.

Llegamos a la conclusión de que hubo, en la parte oriental de Norteamérica, una superficie de erosión, que no se elevó mucho sobre el nivel medio del mar duran-

te la época del Mesozoico medio, y que ahora yace a 1.000 pies por debajo de aquél, bajo el zócalo continental. Si no hubiera habido erosión, su altura promedio sobre los Appalaches sería de más de 5.000 pies sobre las cimas de las actuales montañas, es decir, más de 7.000-8.000 pies sobre el nivel del mar. Lo que verdaderamente representa un tremendo grado de deformación cortical, en Norteamérica oriental, durante los últimos 140.000.000 de años.

Aún tiene otra historia interesante que contarnos el cinturón appalache. Ha sido supuesto por muchos que el alzamiento cenozoico de los Appalaches tuvo alguna clase de relación con el plegamiento de finales del Paleozoico. Veamos si es verdaderamente necesario interpretarlo así.

Aunque los Appalaches desaparecen en dirección suroeste bajo los sedimentos de la Llanada Costera en Alabama (fig. 20), se está generalmente de acuerdo en que la banda plegada continúa hacia el Oeste bajo aquéllos, para reaparecer en las Montañas de Ouachita, en la depresión de Marathon, y en el Solitario, cerca del Río Grande (King, 1951; Flawn, 1959). Los Appalaches miden, desde Newfoundland hasta Alabama, casi 2.000 millas de largo, mientras que los Appalaches soterrados, desde Alabama hasta Río Grande, tienen 1.000 millas de longitud. Desde la mitad de la época mesozoica, el tercio suroeste del cinturón Ouachita-Appalaches, excepto en unas pocas zonas, ha estado sujeto a soterramiento bajo sedimentos mesozoicos y cenozoicos. En Arkansas occidental, y Mississippi occidental, la superficie del basamento sobre el que han quedado depositadas las rocas mesozoicas, está situada en la actualidad a más de 4.000 pies por debajo del nivel del mar (Longwell, 1944) y

quizás llegue a los 8.000 pies (Murray y otros, 1952, páginas 1226-1227). Si extrapolamos la superficie en dirección meridional, hasta el Golfo de Méjico, se alcanza la cifra de 40.000 ó 45.000 pies bajo el nivel del mar.

El cinturón appalache se ha estado alzando al norte

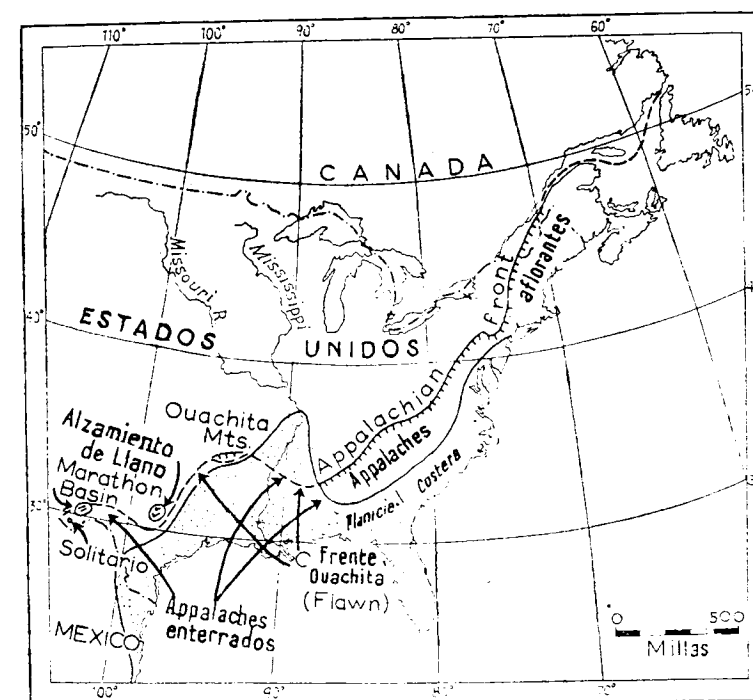


FIGURE 20.—BURIED AND EMERGENT APPALACHIANS

Fig. 20. — Appalaches soterrados y Appalaches aflorantes.

de Alabama, mientras que ha estado sujeto a hundimiento al suroeste. En otras palabras, el cinturón, que quedó plegado a finales del Paleozoico, no estaba necesariamente destinado a alzarse de nuevo a finales del Cenozoico. La historia de los Appalaches, durante la mitad última del Mesozoico y durante el Cenozoico, fué independiente con respecto a su historia anterior.

Los datos de la gravedad de pequeñas porciones de los Appalachés han sido objeto de discusión por Hammer y Heck (1941), Nettleton (1941), y Woollard (1943). Opinaba Nettleton (1941, pág. 281), que las anomalías se explicaban con mayor lógica y facilidad por «contrastos de densidad, de asiento más bien profundo en el interior de la corteza». Aunque esto pueda ser cierto para muchos de los detalles, las características generales indican, sin embargo, la existencia de una raíz. Un mapa, preparado por Lyons (1950, no publicado), muestra que las anomalías Bouguer en milligalios, entre Pennsylvania y Alabama, son los siguientes: Llanada Costera + 40 a - 40, promedio 0; Piedmont, + 40 a - 60, promedio -10; Blue Ridge y Valley y Ridge, - 30 a - 90, promedio - 60; y Mesas Appalachés, 0 a - 60, promedio - 30. Woollard (1959, pág. 1.535) muestra una curva empírica para el cálculo del espesor de la corteza a partir de las anomalías de Bouguer, curva que indica que la corteza «normal», a nivel del mar, es de 32 kilómetros (19 millas) de espesor, mientras que en la zona occidental de los Appalachés su grosor es de 35 a 37 kilómetros (21 a 23 millas). La fórmula de Andrev, citada por Woollard (1959, página 1.534), señala una corteza «normal», al nivel del mar, de 30 kilómetros (18 millas), mientras que en la parte occidental de los Appalachés es de 33-36 kilómetros, (20 a 22 millas) de grosor. Así es que la raíz suplementaria bajo los Appalachés occidentales tiene un grosor de 2 a 4 millas. Esta raíz está de acuerdo con la topografía, tanto en ubicación como en magnitud (véase también Woollard, 1959, pág. 1.535). No hay prueba de la existencia de raíz bajo el Piedmont, aunque éste constituya parte del cinturón deformado. Lo que sugiere que la raíz actual no tiene relación con el plegamiento del Paleozoico alto. La historia mesozoica y cenozoica arri-

ba delineada indica igualmente que la raíz pueda ser de origen más reciente que el plegamiento appalache.

Pasando a un aspecto distinto del mismo asunto, encontramos que los grandes movimientos verticales de alzamiento no están limitados a las áreas de plegamiento. La superficie de la Mesa Appalache, donde las rocas aparecen fundamentalmente tendidas, yace a varios miles de pies sobre el nivel del mar. Y tenemos otro ejemplo, incluso más sorprendente, en la Mesa del Colorado,

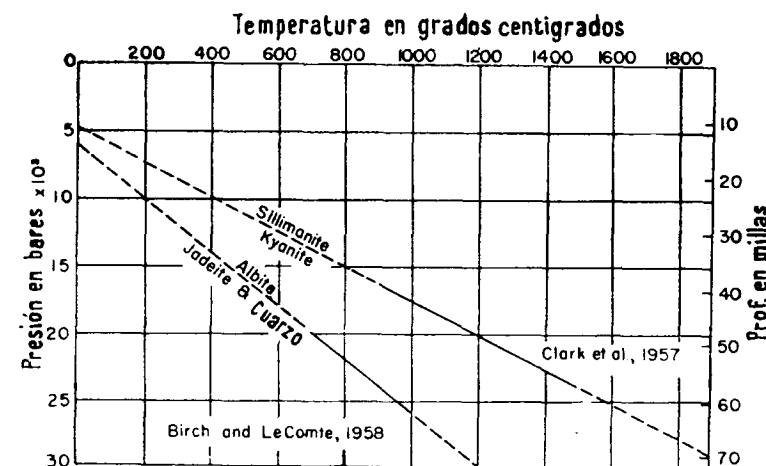


Fig. 21.—Campos de estabilidad de algunos minerales de alta presión.

cuya superficie yace actualmene a más de 5.000 a 10.000 pies sobre el nivel de los mares. Aunque este área quedó suavemente plegada durante la revolución larámica (Kelley, 1955) el acortamiento es muy inferior al 5 p. c. Incluso si la totalidad de la corteza en este área se hubiera acortado hasta el 5 p. c., el espesor de la corteza habría incrementado sólo en 2 kilómetros. En el caso de que hayan prevalecido las leyes isostáticas, sólo un décimo, más o menos, de esta cantidad, quedaría expresado por

una elevación suplementaria. O, dicho de otro modo, los estratos más modernos entre los implicados en el plegamiento habrían quedado alzados solamente 0,2 kilómetros (600 pies); pero en realidad están a muchos miles de pies sobre el nivel marino. Además el alzamiento es mucho más moderno que el plegamiento. El alzamiento de estas mesetas no puede explicarse por compresión.

La geología del metamorfismo, y trabajos experimentales con ella relacionados, suministran interesantes datos con respecto a la magnitud de los movimientos epigénicos (fig. 21). Según Clark, Robertson y Birch (1957) la cianita se forma a temperaturas de 1.000° C., solamente si la presión es, por lo menos, de 17 kilobars, lo que equivale a una profundidad de 40 millas en el interior de la corteza. Estos autores deducen, por extrapolación, que, incluso a temperatura ambiente, la presión bajo la que podría formarse la cianita excede los 5 kilobars, que corresponde a una profundidad de más de 10 millas. Lo que exige que donde quiera que veamos cianita en el campo, ha habido, por lo menos, erosión de 10 millas de espesor de rocas.

Disponemos de pruebas semejantes procedentes del estudio experimental de la transformación de la albita en jadeíta y cuarzo (Robertson, Birch y Mac Donald, 1957; Birch y Lecomte, 1958). A temperatura ambiente sería necesaria una presión de 5 kilobars —equivalente a una profundidad de 13 millas— para que la jadeíta y el cuarzo coexistan en equilibrio; a temperatura de 1.000° sería necesario una presión de 26 kilobars, equivalente a una profundidad de 62 millas. La asociación jadeíta-cuarzo ha sido encontrada en California, Japón y Célebes (Miyashiro y Banno, 1958). Una erosión tan profunda es solamente posible, desde luego, cuando haya tenido lugar después un alzamiento igualmente grande. Muchas

geólogos serán de opinión de que hay otra serie de pruebas o indicios que no apoyan la idea de erosión tan profunda. Existe desde luego la posibilidad de que las presiones puedan a veces exceder en gran medida, durante el metamorfismo, a la carga de las rocas suprayacentes.

Movimientos verticales amplios acompañados por fallamientos de gran ángulo.

Los movimientos verticales de gran amplitud van acompañados, con frecuencia, por fallas gran-angulares. En la mayor parte de las áreas donde se producen, tienen el carácter de fallas normales que originan fosas, pñares y bloques-falla. En las zonas en que tales fallas son causa de desplazamientos de la superficie terráquea, se originan depresiones y montañas alternantes. Esto constituye el origen de la voz de Sander, tafrogénesis.

La zona de Basin y Range de Norteamérica constituye un ejemplo de este tipo de diastrofismo (Nolan, 1943; Hinds, 1952, págs. 63-86). Como ejemplos específicos de áreas de este tipo mencionaremos las cadenas de Oquirrh (Gilluly, 1932), de Wasatch (Eardley, 1933 a: 1933 b; 1951), Ruby-East Humboldt (fig. 22; Sharp, 1939), de Stillwater (Muller y otros, 1951) y de Inyo (Knopf y Kirk, 1918). Maxson (1950) ha descrito la deformación de una superficie de erosión durante el alzamiento de la Cadena Panamint de California, en relación con fallamientos. La moderna estructura en bloque-falla que muestra la región de Basin-Range comenzó a desarrollarse durante la última época terciaria.

Se conocen montañas en bloque-falla también en Asia. Las del Altai se alzaron principalmente durante el Cuaternario, en forma de un amplio arco que arrumba de

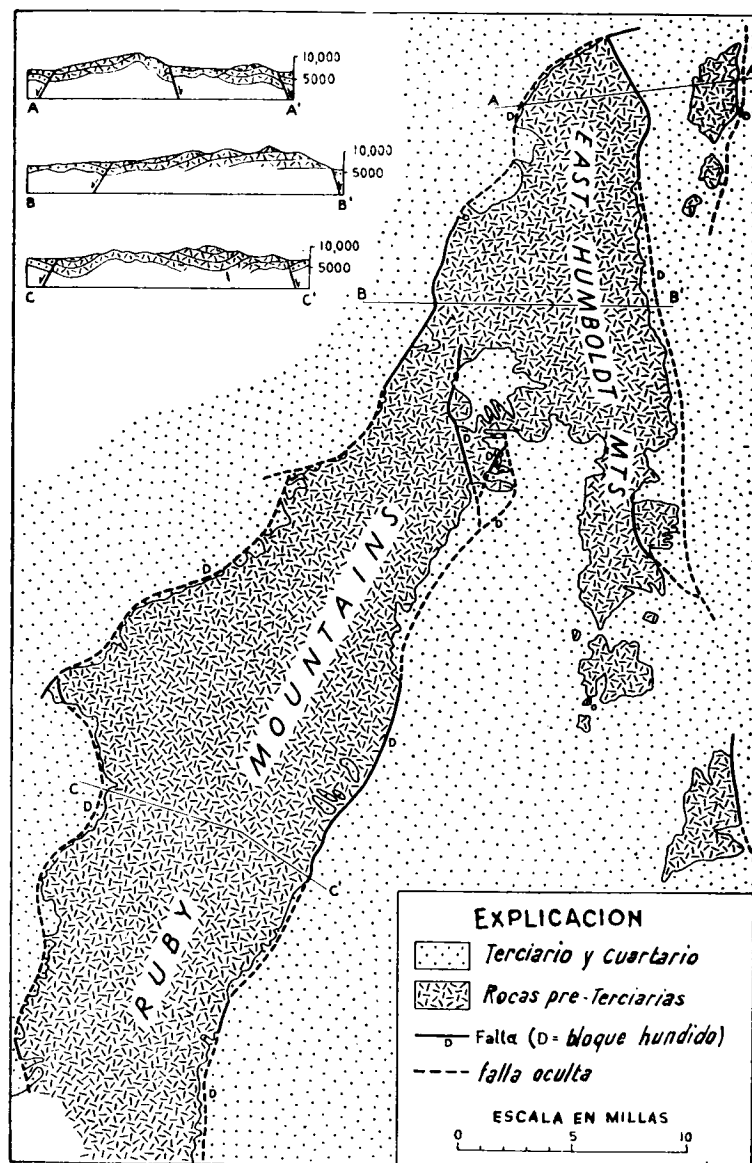


Fig. 22.—Pilar (Horst) de la Cadena de Ruby - East Humboldt en Nevada. Según R. P. Sharp.

este a oeste, fenómeno acompañado de considerable fallamiento normal (Belayevskiy y otros, 1958, vol. 3, páginas 361-352). En Rusia noroeste y oriental ha tenido lugar alzamiento diferencial de una penillanura del Mioceno alto, fenómeno acompañado de fallamiento normal, con desarrollo de montañas del tipo bloque-falla (Belayevskiy y otros, 1958, vol. 3, págs. 374-80).

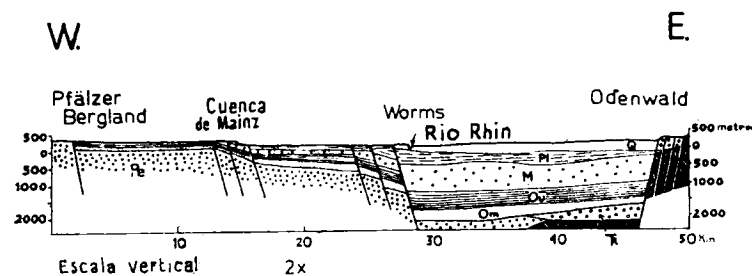


Fig. 23.—Fosa del Rin.

Negro con trazas blancas = Basamento pre-Permiano, Pe = Permiano. Tr = Triásico. Om = Oligoceno medio. Ou = Oligoceno alto. M = Mioceno. Pl = Plioceno Q = Cuaternario. Según Dorn.

La fosa del Rin (fig. 23) tiene 280 millas de longitud, 20-25 millas de anchura, y está recortada por numerosas fallas más chicas, todas las cuales son de tipo normal (Dorn, 1951, págs. 324-337). La formación de la fosa del Rin estuvo asociada a un acupulamiento regional. La Selva Negra (Hans Cloos, 1951-1952) se alzó a finales del Terciario y principios del Cuaternario, en parte por acupulamiento, en parte por movimientos a lo largo de fallas (Dorn, 1951, pág. 217). En la mayor parte de las descripciones de las fosas africanas, se encuentran muy generalizadas las fosas (Krenkel, 1922; Gregory, 1921; Hans Cloos, 1939; Henning, 1938); es muy difícil obtener información acerca del comporta-

miento de los planos de falla. Afirma Shackleton (1955) que, en la parte de la fosa que queda situada justo al norte y al sur del Ecuador, el fallamiento es, al parecer, más moderno que la superficie de erosión de «fin del Terciario». Aunque tuvo lugar fallamiento intenso a fines del Pleistoceno, el fallamiento principal fué más temprano. Los Valles de desgarre africanos (African Rift Valleys) están asociados a fenómenos de acupulamiento. Currie (1956) ha mostrado experimentalmente la relación que existe entre las fosas y los movimientos verticales.

Los conjuntos de bloque-falla, muchos de los cuales encuentran expresión en la topografía, son corrientes en Nueva Zelanda (Cotton, 1950). Sin embargo, aunque algunas de las fallas limitantes son normales, otras son cabalgantes de gran ángulo (Cotton, 1950, págs. 728-729). No es fácil hallar explicación para las fuerzas que dan origen a las fallas de gran ángulo. Una falla cabalgante, cuya inclinación sea de 60° y a lo largo de la cual el salto neto no ofrezca componente en el sentido del rumbo, exige que el máximo eje principal de esfuerzos tuviera una inclinación aproximada de 30° con respecto a la superficie terráquea, pero son improbables los esfuerzos regionales de tal orientación, aunque pueden desarrollarse esfuerzos locales de este tipo. Algunos cabalgamientos de tal orientación puede ser que aprovechen viejos planos de falla de tipo normal o con saltos al rumbo.

Desplazamientos de gran escala con salto en la dirección del rumbo.

En años recientes se ha insistido mucho acerca de la posibilidad de existencia de grandes desplazamientos

horizontales, mediante deslizamientos en el sentido del rumbo, a lo largo de fracturas empinadas (Hill y Dibblee, 1953; Moody y Hill, 1956). Hace más de un siglo que se conoce la existencia de accidentes de este tipo, en escalas modestas. Dice Heim (1919, vol. I, pág. 613) que ya en 1840 reconoció Escher la existencia, en la región de Säntis en los Alpes, de fallas desplazadas en el sentido del rumbo. Algunas, de entre las fallas de este tipo, son claramente un resultado accesorio de las mismas causas que producen el plegamiento. Entre otros ejemplos específicos podemos citar las montañas del Jura (Heim, 1919, pág. 613-626; Billings, 1954, págs. 212-214) y el suroeste de Gales (Anderson, 1951, págs. 60-64; Billings, 1954, pág. 214).

Hagamos aquí ahora una pequeña digresión para considerar el término regmagénesis, de Sonder. Hacia 1930 este autor publicó mapas de América Central, del Océano Atlántico, y del Mar Egeo, en los que mostraba dos o más series de fracturas maestras, cada una de las cuales se extendía a lo largo de decenas o de centenas de millas. Se deducía la existencia de estas alineaciones, sobre todo, a partir de supuestas disposiciones lineares de volcanes, esquemas de drenaje, y por las disposiciones de las líneas de costa. Reprodujo Sonder estos mapas (1956, págs. 118-123) junto con uno del Mar Mediterráneo, preparado por Sieberg, y otro de Africa, por Hennig (1938, pág. 123). Hay muchos geólogos que ponen en duda la realidad de estas hipótesis, como consecuencia de los métodos empleados para deducir la existencia de tales extensas fracturas. Los métodos y conclusiones de Sonder son reminiscentes de los trabajos más antiguos de Hobbs (1901; 1904; 1905; 1911). La mecánica de la formación de un sistema de fracturas, de categoría mundial, ha sido descrita por Vening-Meinesz

(1943; 1947), aunque no hay prueba geológica de su existencia (Umbgrove, 1946). En una publicación en que se examinan y discuten estas supuestas fracturas (Sonder y Vening-Meinesz, 1947, pág., 939) introdujo Sonder el vocablo y concepto regmagénesis, a partir del vocablo griego *regma*, que quiere decir grieta o fisura. También parece que sea entonces cuando sugirió, por primera vez, que los desplazamientos a lo largo de tales fracturas, cuando tienen lugar, son del tipo de desplazamiento en el sentido del rumbo, o de salto al rumbo. El término regmagénesis se debate contra la sombra del hecho de que muy bien pudiera ser que no existan muchas de las supuestas fracturas regmáticas.

Volvamos a nuestro tema principal. Nos ocuparemos aquí de grandes fallas, con deslizamiento al rumbo, a lo largo del cual ha tenido lugar un desplazamiento de muchas millas. La falla de San Andrés, en California, es tan bien conocida de los geólogos americanos que es apenas necesario discutirla aquí en detalle (Hill y Dibblee, 1953). La mayor parte de los geólogos que conocen bien el área están de acuerdo en que el desplazamiento a lo largo de la falla de San Andrés ha sido colosal. Desde luego es de decenas de millas; Hill y Dibblee creen que el salto puede haber sido de 120 millas, a partir del Cretáceo, y de 350 millas desde el Jurásico. Pero todavía no resulta claro si se trata de una gran fractura incidental a la estructura de la Cadena Costera (Coast Range), o si se trata de una fractura maestra de la corteza terráquea —geosutura de Hans C'ooos (1948)— que domina la deformación de la parte occidental de la Cordillera Norteamericana.

La falla de Great Glen en Escocia es una, de entre media docena, de empinadas fallas arrumbadas en dirección noreste, a lo largo de la cual el bloque noroeste ha

movido con relación al suroeste (Kennedy, 1946; Billings, 1954, págs. 223-225). El salto o deslizamiento neto, a lo largo de la Gran Falla de Glen, es de 65 millas.

La falla Alpina, de arrumbamiento noroeste, de la

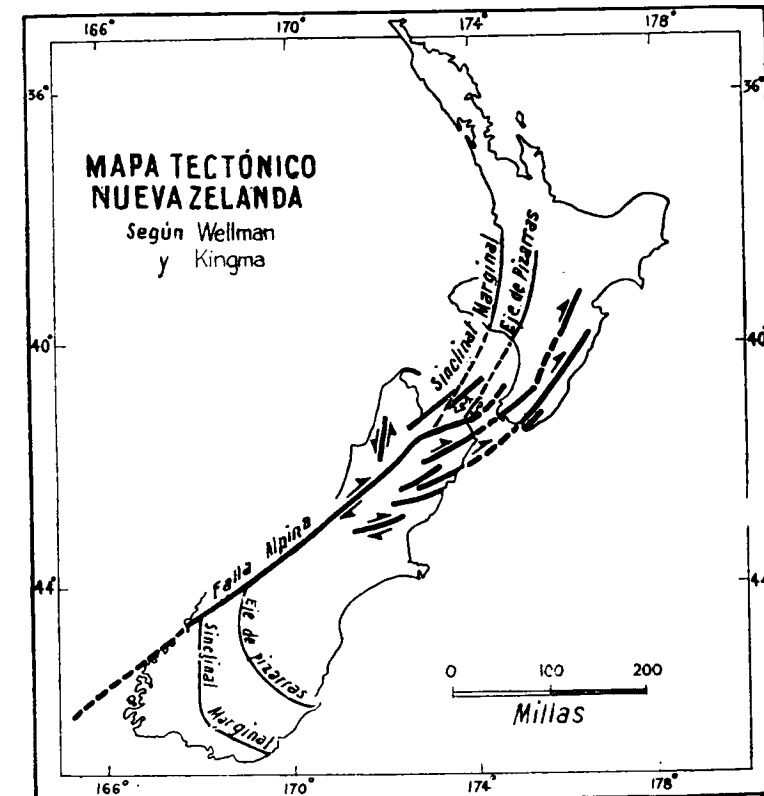


Fig. 24.—Falla Alpina y satélites, en Nueva Zelanda.
Nótese la transposición del «sinclinal marginal» y del «eje de pizarras».

South Island de Nueva Zelanda (Wellman, 1955 y 1956), ha sido considerada en años recientes como una falla (de sentido derecho), con deslizamiento al rumbo (figura 24). Wellman (1955, pág. 249) afirma que el bloque

noroeste se ha desplazado hacia el noreste lo menos 300 millas, desde finales del Jurásico, con respecto al bloque sureste. Pero, por otra parte, tenemos a Kingma (1959, página 32) que dice que «es, por consiguiente, poco probable que haya habido movimiento de transposición de gran escala a lo largo de la falla Alpina».

La abundancia de fallas con deslizamiento al rumbo, en el Caribe y en Sudamérica septentrional, ha sido objeto de examen por Hess y Maxwell (1953, pág. 5) y por Rod (1956). El mapa trazado por Hess y Maxwell sugiere que Cuba ha resbalado 300 kilómetros hacia el oeste con respecto a Haití. Rod afirma que el deslizamiento neto en Venezuela a lo largo de fallas con salto al rumbo es del orden de decenas de kilómetros.

Si esto es así las fallas de gran escala con desplazamiento al rumbo aparecerían como constitutivas de un tipo de diastrofismo muy importante. Pero resulta muy difícil discernir, con frecuencia, cuáles sean las fuerzas implicadas. Incluso en California no resulta claro si todas las características estructurales asociadas a las fallas —fallas derechas e izquierdas, con salto al rumbo, fallas normales y pliegues— puedan encontrar su explicación por un solo conjunto de fuerzas. Además hay muchas fallas, en otras partes de Estados Unidos, que han sido adscritas en los últimos años a la categoría de desplazamiento al rumbo, con carencia de suficiente fundamento. Los intentos para explicar fracturas, de orientaciones diversas, atribuidas a un solo juego de fuerzas, mediante fallas deslizantes al rumbo, de categoría primaria, secundaria y terciaria (Moody y Hill, 1956), suenan a hueco desde el punto de vista de la mecánica.

En los últimos años, algunos de los grandes escarpes de los fondos oceánicos han sido considerados como consecuencia de fallas con deslizamiento al rumbo. Me-

nard (1955) ha descrito cuatro grandes zonas de fractura en el Pacífico oriental. Estas zonas, cuya longitud varía entre las 1.400 y las 3.300 millas, tienden a seguir círculos máximos. Cada zona, cuyo promedio en anchura es de 60-100 millas, se compone de un amplio saliente,

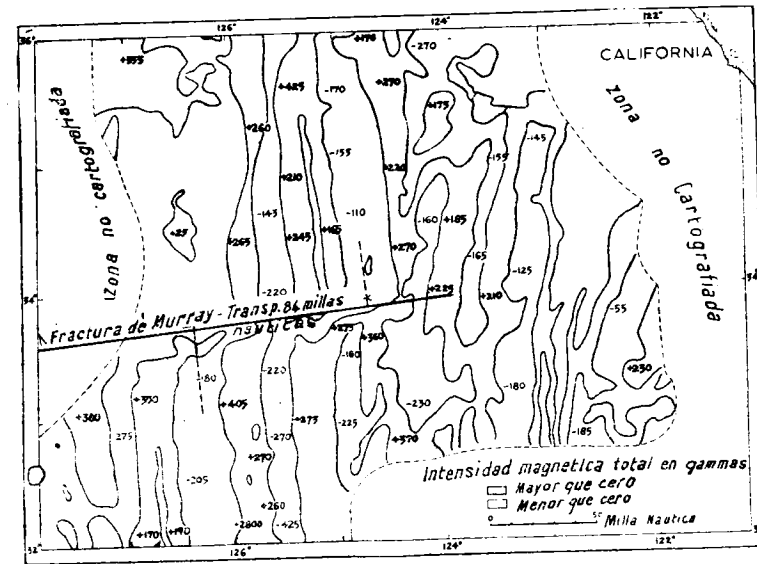


Fig. 25. — Anomalías magnéticas asociadas a la zona de la Fractura de Murray, en el Océano Pacífico oriental. Las cifras positivas representan las anomalías positivas mayores; las negativas muestran las anomalías negativas máximas. Según Mason.

abultamiento o dorsal, en medio del cual existen uno o más surcos topográficos.

Cuando escribió Menard su trabajo había muy escasa comprobación directa de que el desplazamiento a lo largo de estas fracturas sea mediante salto a lo largo del rumbo. Más recientemente ha descrito Mason (1948) una prospección magnética, llevada a cabo en el Océano Pacífico al oeste de California meridional (fig. 25). El área

por ella cubierta es de unas 70.000 millas cuadradas, y consiste en una tendida llanura abisal, situada casi a 5 kilómetros bajo el nivel del mar. El mapa muestra la intensidad magnética total, expresada en gammas. Alternan allí altos y bajos, la diferencia entre los cuales es de unas 400 gammas, y cuya anchura es de unas 25 millas; arrumban de norte a sur. Cree Mason que las bandas de anomalías están transpuestas, en sentido derecho, a lo largo de la fractura de Murray. Pero es conclusión que puede ser discutida. Por un lado no se encuentra ninguna transposición aparente de las bandas de anomalía al este de la long. 125° oeste. En segundo lugar, aunque haya una interrupción evidente de las anomalías a lo largo de la fractura de Murray, otras parecen continuar a ambos lados. En tercer lugar, no hay explicación completa de las anomalías; existe la posibilidad de que, bajo las zonas altas, haya láminas de basalto con un espesor de unos 2 kilómetros, que arrumben de norte a sur.

En los últimos años son muchos los sismólogos que han llegado a la conclusión de que la mayor parte de los terremotos están causados por fallas deslizantes en el sentido del arrumbamiento (Hodgson, 1957; Scheidegger, 1957 b). El método original de investigación propuesto por Byerly (1926), está basado en el análisis del primer movimiento de las ondas *P* llegado a las estaciones registradoras; Hodgson (1957, 1959), ha desarrollado un método rápido de análisis de los datos, pero este método no arroja una solución única, ya que se obtienen dos posibles planos, cualquiera de los cuales podría representar la falla. El plano perpendicular a la falla y al salto neto es denominado plano auxiliar. La intersección de estos dos planos fué denominada sector nulo por Hodgson (1957), pero Mc., Intyre y Christie (1957) propusie-

ron, como más apropiada, la denominación de eje *B*. Con independencia de la cuestión, de cual de los planos sea la falla, el eje *B* resulta perpendicular al deslizamiento neto. Si el eje *B* está en disposición vertical el deslizamiento neto es horizontal, y la falla es del tipo de salto al rumbo. Si el eje *B* se dispone en sentido horizontal la falla es de salto en el sentido del buzamiento. Como el eje *B* está, por lo general, en disposición empinada, lle-

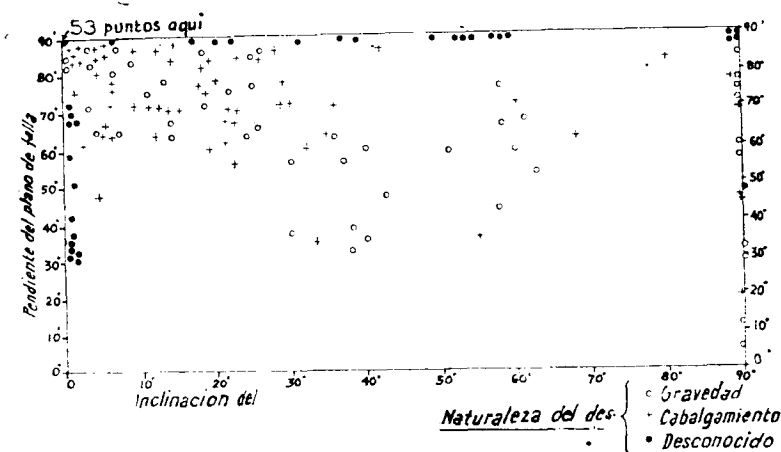


Fig. 26. — Soluciones para las posiciones de los planos de falla según datos de las ondas *P*.

Como consecuencia de ambigüedad sistemática en el método, la mitad de los puntos representan una falla; la otra mitad representa los, así denominados, planos auxiliares. La ordenada corresponde a la pendiente del plano de falla o a la del plano auxiliar. Las abscisas nos dan el declive del deslizamiento neto de una línea dentro del plano auxiliar perpendicular al sector nulo (eje *B*). Basado en tablas preparadas por Scheidegger (1955).

gan los sismólogos a la conclusión de que la mayor parte de los terremotos están originados por fallas con salto en el sentido del rumbo.

Es posible un ataque más cuantitativo del problema. El autor de este trabajo ha preparado la figura 26 a par-

tir de datos reunidos por Scheidegger (1955), procedentes de 100 terremotos. Por cada sacudida se registran dos puntos. Uno de ellos representa la pendiente del plano de falla y el barrido, o declive, del deslizamiento neto. El otro corresponde al buzamiento del plano auxiliar y a la inclinación de una línea situada en ese plano, perpendicular al eje *B*. Sin embargo, resulta imposible señalar qué puntos representan las fallas y cuáles los planos auxiliares. La pendiente de la falla (o del plano auxiliar) está referida a las ordenadas, mientras que la inclinación del deslizamiento neto (o de la línea comparable en el plano auxiliar) está referida a las abscisas. Los puntos del ángulo superior izquierdo representan las fallas verticales de deslizamiento al rumbo; los puntos del ángulo superior derecho representan las fallas verticales de salto a lo largo de la pendiente. En teoría debería haber 200 puntos, dos para cada sacudida; en realidad sólo hay 194, porque los datos no son completos. Los 157 puntos que yacen en la mitad izquierda del diagrama representan, o bien fallas para las que la componente del deslizamiento al rumbo es mayor que la que ofrece en el sentido de la pendiente, o bien planos auxiliares en los que el declive de una línea normal al eje *B* es menor de 45° . Los 37 puntos que yacen en la mitad derecha del diagrama representan, o bien fallas en las que la componente del deslizamiento según la pendiente es mayor que la del desplazamiento en el sentido del rumbo, o bien planos auxiliares en los que el declive de una línea normal al eje *B* es mayor de 45° . A partir de estos datos, resulta más correcto decir que, en el caso del 81 p. c. de las fallas estudiadas la componente del deslizamiento de rumbo es mayor que la del desplazamiento según la pendiente, que no decir que la mayor parte de las fallas son con salto al rumbo.

Scheidegger ha propuesto posteriormente un método que suministra una solución única, combinando los resultados de varios terremotos ocurridos en una sola área. «Si disponemos de una serie de soluciones para los planos de falla correspondientes a una determinada área geográfica, resulta posible la determinación del desplazamiento tectónico mediante una resolución de mínimos cuadrados» (Scheidegger, 1958 b, pág. 19).

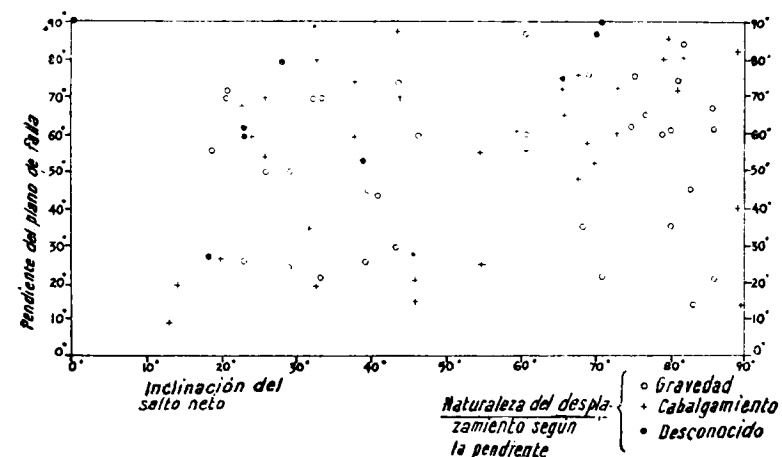


Fig. 27.—Soluciones para las posiciones de los planos de falla, según el método ruso, basadas en datos de las ondas S.

Cada punto representa los resultados obtenidos de un terremoto. La ordenada nos da el buzamiento del plano de falla, la abscisa la inclinación del deslizamiento neto. Se basa en tablas preparadas por Scheidegger (1957 a).

Scheidegger (1958 a) y otros han demostrado que es teóricamente posible obtener una solución única mediante la utilización de datos de ondas S. Scheidegger (1957 a) ha resumido en forma tabular los datos obtenidos por sismólogos rusos entre 1953 y 1957. Los resultados correspondiente a 84 sismos aparecen registrados en la figura 27. Los buzamientos de los planos de falla varían entre 10° y 90° . También la inclinación que caracteriza al

deslizamiento neto muestra amplitud considerable entre sus magnitudes extremas, que varían entre «pequeñas» y 90° . En 49 casos excede el declive a los 45° , y sólo en 35 casos es menor de 45° . Así es que en la mayor parte de estos casos la componente en el sentido del buzamiento excede a la componente en dirección al rumbo y los resultados difieren considerablemente de los basados en el análisis de las ondas *P*.

Realmente, hay todavía mucho de incierto en los métodos sísmicos. Algunos autores (Adams, 1958) han acusado un escaso acuerdo entre los resultados obtenidos a partir del estudio de las ondas *S* y de las ondas *P*, para los mismos terremotos. Además, el esquema de distribución de compresiones y tensiones alrededor de un foco es más compleja de lo que se admite generalmente (Knopoff y Gilbert, 1960, págs. 133-134).

El estudio de los sismos ocurridos en la zona Dixie Valley-Fairview Peak, Nevada, que tuvieron lugar el 16 de diciembre de 1954, nos ofrece información interesante (Tocher y otros, 1957). El epicentro, situado al sureste del Fairview Valley (fig. 28), representa una sacudida que tuvo lugar a las 3.07 de la mañana, P. S. T., con una profundidad de foco de unos 15 kilómetros. El epicentro situado al noroeste de Dixie-Valley representa un temblor que ocurrió a las 3.11 de la mañana, P. S. T., con profundidad de foco de unos 40 kilómetros. El análisis de los registros sísmográficos llevados a cabo por el método de Byerley-Hodgson indica que la falla causante de la primera sacudida arrumba al norte 11° oeste, y tiene un buzamiento de 62° este, y que el salto neto fué de sentido tal que el paramento oriental se desplazó hacia abajo con una caída de $24''$ sur. Como consecuencia de la complejidad de los registros no fué posible establecer un análisis semejante para la segunda sacudida.

Afortunadamente se había llevado a cabo una prospección geodésica del área el verano anterior a la ocurrencia de los terremotos. Repasando el levantamiento en

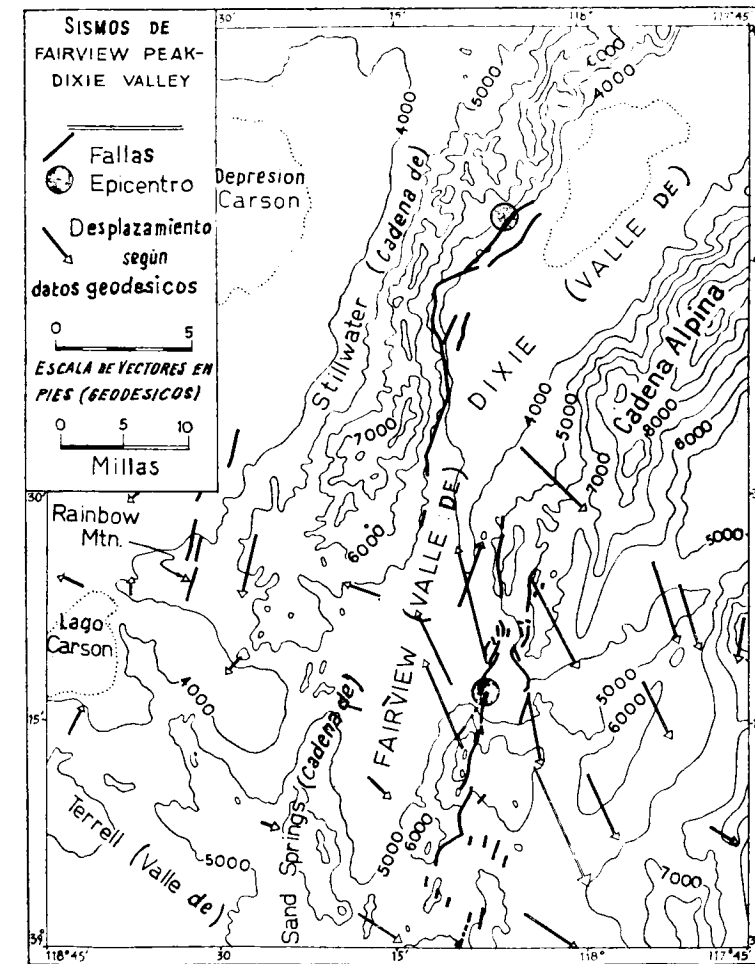


Fig. 28.— Diastrofismo asociado a los terremotos de la zona de Fairview Peak - Dixie Valley, en Nevada.

Las flechas indican los movimientos de diversas referencias de los bancos, durante los terremotos; la amplitud queda registrada por la «escala de vectores». El epicentro del sismo de Fairview Peak queda más al sur de los dos círculos sombreados. El círculo rayado más septentrional es el epicentro del sismo de Dixie Valley. Según mapas de Tocher y otros (1957).

1959 fue posible la determinación de los desplazamientos, que se señalan mediante flechas en la figura 28. La mayor parte de las estaciones situadas a menos de 20 millas del epicentro de Fairview Peak (meridional), se desplazaron varios pies al sur-sureste o norte-noroeste. Pero el arrumbamiento promedio de las superficies de falla, a lo largo de las cuales tuvo lugar desplazamiento durante los terremotos, es de unos 15° este, dirección paralela a la de las cadenas de montañas. El desplazamiento neto a lo largo de estas fallas puede ser descompuesto en una componente normal de salto al buzamiento, y otra de

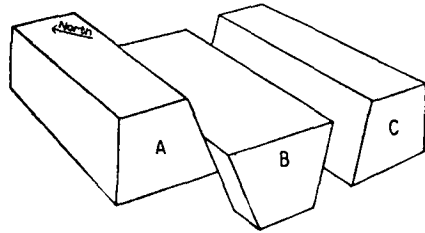


Fig. 29.—Indole del deslizamiento neto en fallas de superficie durante los terremotos de Fairview Peak — Dixie Valley, en Nevada.

El salto neto a lo largo de las fallas, que buzaban al este, fué como el que tuvo lugar a lo largo de la falla entre los bloques A y B. El salto neto a lo largo de las fallas que buzaban al oeste fué como el de la falla que separa los bloques B y C.

salto al rumbo, a lo largo de la cual el bloque oriental se movió en dirección al sur. Un par cuyas fuerzas fueran paralelas a las flechas representadas en la figura 28 no produciría fallas con esa orientación y tipo de desplazamiento. Parece, por consiguiente, que las fallas de superficie estaban regidas por una serie de fallas más viejas existentes en el Basin Range. Lo que a su vez sugiere que los desplazamientos al rumbo, de tipo San Andrés, están invadiendo actualmente un área que había sido de-

formada anteriormente por fallas con desplazamiento según la pendiente. La fig. 29 aclara el movimiento a lo largo de fallas superficiales, en que el bloque B se ha desplazado hacia abajo y hacia el sur con respecto al bloque A, y el bloque C se ha movido hacia arriba y hacia el sur con respecto al bloque B.

En resumen, los geólogos y los sismólogos insisten mucho en la actualidad sobre el caso de las fallas con desplazamiento al rumbo. Algunas publicaciones incluso insisten en que este es el tipo primario de diastrofismo y que la mayor parte de los restantes tipos de deformación constituyen efectos secundarios. En muchos sitios la supuesta prueba geológica del hecho se basa en una interpretación defectuosa. El método sísmico exige análisis cuidadoso, porque las conclusiones difieren según que se haga uso de las ondas P o las S. El estudio de la estructura de los diversos continentes indica que no ha habido grandes fallas con desplazamiento al rumbo en los tiempos antiguos. Es posible que sean ahora mucho más importantes tales fallas, en la evolución de la corteza terrestre, que lo fueron en el pasado.

Desplazamientos de la corteza, o de toda la Tierra, con respecto al eje de rotación.

Nos encontramos en este caso con tres tipos posibles de desplazamiento: 1) Deslizamiento, mas o menos uniforme, de la corteza sobre el manto; 2) deriva continental, en cuyo caso hay porciones de la corteza que se mueven las unas con respecto a las otras, y que incluso pueden girar alrededor de ejes verticales; y 3) desplazamientos de la totalidad del cuerpo terráqueo con respec-

to al eje de rotación. Empleó Sonder (1956, pág. 13) el término forogénesis para los dos primeros tipos de desplazamiento, los cuales definió como «desplazamientos tangenciales (movimientos de deriva) de la corteza sólida sobre la astenostera».

Este concepto de la deriva de los continentes ha sido objeto de discusión durante muchos años, pero de modo más especial desde la aparición de la primera edición del libro de Wegener (1915, 1924). La cuestión ha sido debatida por lo menos en dos simposios, uno congregado por Van der Gracht (1928), el segundo por Carey (1958). Los principales argumentos y pruebas aducidas con anterioridad a 1945 incluían los siguientes aspectos: 1) paleoclimatología; 2) ensamble de las márgenes de los continentes; 3) semejanza de las estructuras e historias geológicas en áreas situadas en lados opuestos de las cuencas oceánicas, y 4) datos biológicos.

Una discusión profunda quedaría fuera de los límites y objetivos de este trabajo. Pero podemos resumir nuestros puntos de vista, sin embargo, citando a Longwell (1958):

«Estos comentarios de crítica pueden llevar a la idea de que soy un escéptico incurable por lo que se refiere a la deriva continental. Admito que en efecto lo soy..., porque: 1) las pruebas que conozco son meramente sugestivas y circunstanciales, no ha habido ningún argumento contundente; 2) incluso dejando totalmente de lado el problema de la fuerza propulsora, el supuesto avance en sentido horizontal de los bloques síalicos a través del sima parece ser sumamente improbable.»

En los años últimos se ha hecho uso amplio de una nueva herramienta, el paleomagnetismo, al objeto de investigar los cambios en las posiciones geográficas. Hace veinte años que McNish y Johnson (McNish y Johnson,

1940; McNish, 1941; 1943) publicaron estudios referentes a este nuevo campo. Sin embargo, hasta después de la segunda guerra mundial no ha tenido lugar el tremendo desarrollo experimentado por este método, sobre todo en Gran Bretaña y Japón (Nagata, 1953).

Los métodos que se emplean para llevar a cabo los estudios paleomagnéticos varían en detalle, pero son fundamentalmente semejantes (McNish, 1941; Runcorn, 1956). Allí donde los estratos no se encuentren en disposición horizontal, se miden su rumbo y pendiente para fijar su posición en el espacio, de modo que pueda ser determinada la posición que tenían con anterioridad al plegamiento. En Arizona, donde llevó a cabo sus trabajos Runcorn (1956), prefería éste como objeto las arenas rojas de grano fino, arcillas pizarreñas y limolitas. Se extraían uno o dos testigos de 3,5 centímetros de diámetro, de manera que el eje del cilindro fuera perpendicular a la estratificación, y después se cortaban en rodajas, o discos, de un centímetro de grueso. Se medía después la declinación, con respecto al actual Norte geográfico, y la inclinación del vector magnético. Decía Runcorn (1956, página 304):

«...las medidas consisten, en lo esencial, en la observación de las deflexiones angulares de un imán horizontal colgado mediante una fibra muy delgada, cuando se alza el ejemplar de la roca por debajo de aquél. La gran sensibilidad que exige el experimento se logra mediante eliminación de la influencia que ejerce el campo geomagnético sobre el imán suspendido.»

De este modo puede determinarse, en teoría, la orientación del campo magnético en cualquier localidad y época del pasado, siempre que se disponga de material apropiado.

En teoría debería bastar con una sola observación para

señalar la ubicación del polo magnético en la época en que se depositó la roca sujeta a investigación. Por consiguiente diversas observaciones llevadas a cabo en rocas de la misma edad, pero procedentes de diversas partes del mundo, deberían encontrar confirmación unas con otras. Y las observaciones llevadas a cabo en rocas de edades diferentes deberían mostrar si el polo magnético había o no migrado a lo largo de los tiempos geológicos. Finalmente, si se acepta que el polo magnético haya permanecido siempre en posiciones más o menos próximas al polo geográfico, resultaría posible determinar, mediante este método, los cambios en la posición geográfica de diversas zonas de la Tierra. Runcorn (1956, figura 9), nos muestra los resultados de un estudio de esta índole. Según ese mapa, el Polo Norte yacía, durante los tiempos pre-cambrianos, en el Pacífico oriental; durante la época cambriana en el Pacífico central; migró hacia el noroeste a lo largo del Paleozoico, y después hacia el norte durante el Mesozoico y Cenozoico, hasta alcanzar su posición actual.

Antes de analizar el alcance que pueda tener el magnetismo fósil, debería recordarse que la configuración del campo magnético terrestre ha variado mucho durante los tiempos históricos. En Londres (fig. 30), por ejemplo, la declinación magnética varió de 11° E a 24° O entre 1600 y 1800, o sea un cambio de 35° en doscientos años (McNish, 1941, pág. 227). De manera análoga la inclinación de 74° en 1700, a 60° en 1935, o sea un cambio de 8° en doscientos treinta y cinco años. En Boston, la inclinación ha pasado de 68,5° a 74° entre 1723 y 1850. Si aceptamos las hipótesis generalmente admitidas en los estudios paleomagnéticos llegaríamos a la conclusión de que Boston ha avanzado a la deriva 300 millas en dirección al Norte durante este período de tiempo.

Se han sugerido las siguientes razones para explicar porqué la magnetización fósil difiere de la actual: 1) deslizamiento de toda la corteza sobre el manto; 2) rotación de todo el cuerpo terráqueo con respecto al eje de giro (Gold, 1955); 3) deriva continental, sin o con rotación de las masas continentales; 4) inversiones periódicas, o al menos episódicas, del campo magnético terrestre, y 5) inversiones debidas a erupciones sucesivas de lavas.

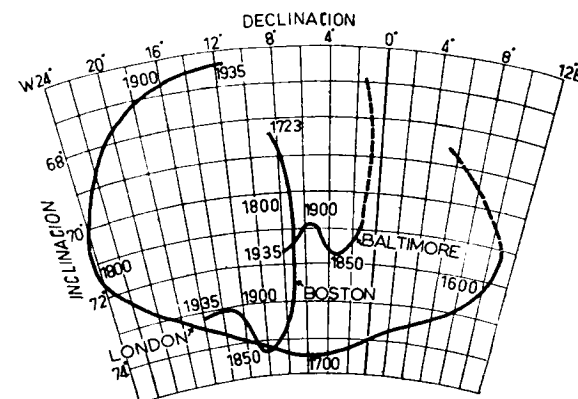


Fig. 30. — Variaciones de la inclinación y declinación magnéticas, en tiempos históricos, registradas en Londres, Boston y Baltimore. Según Mc. Nish.

Los geólogos no pueden por menos de considerar con escepticismo extremo las conclusiones a las que hasta ahora se ha llegado a partir de estos estudios paleomagnéticos. Por un lado nos encontramos con que los mismos investigadores de este campo no están de acuerdo con respecto a sus interpretaciones. Además, si el resbalamiento de la totalidad de la corteza no les basta para explicar sus observaciones, algunos investigadores apelan también a la deriva y rotación de los continentes (Creer, 1958, págs. 100, 101). De este modo, desde luego,

todo llega a explicarse; no hay quien pueda contra tal combinación de circunstancias. Stehli (1957), partiendo de un estudio de la distribución en zonas climáticas de la época permiana, basada a su vez en la distribución de determinados braquiópodos y fusulínidos, estimó que las zonas climáticas permianas eran semejantes a las que predominan actualmente o, dicho en otras palabras, su estudio tendía a señalar que ha habido escaso cambio en la posición del eje geográfico de la Tierra a partir de entonces. Sugieren Doell y Cox (1959), que durante el Mesozoico y el Terciario antiguo el campo magnético terrestre estaba constituido por un dipolo que cambiaba con rapidez relativa, sin que se requiriese un desplazamiento de monta o rotación de los continentes. Munk (1956), sobre la base de sus análisis físicos y matemáticos expresa dudas acerca de la probabilidad de migraciones polares.

Hipótesis acerca del diastrofismo.

Delinearemos ahora las hipótesis acerca del diastrofismo, pero diferiremos un análisis más crítico para aquella parte de esta comunicación en que se trata de la formación de montañas.

Se ha considerado durante largo tiempo a la compresión horizontal como un factor de orden mayor del diastrofismo. De hecho, el concepto de compresión fué desarrollado para explicar los pliegues y acabalgamientos, que con tanta claridad como profusión nos muestran las rocas estratiformes. Algunos geólogos, entre ellos Sonder (1956), opinan que las deformaciones en alabeamientos amplios, con longitudes de onda de cientos de millas, pueden llegar a desarrollarse cuando una costra cristalina, relativamente fuerte, con pocos o ningún esta-

to suprayacente, queda sujeta a compresión. Hay muchos que creen que una raíz, originada por compresión, puede quedar eliminada después por un alzamiento lento acompañado de erosión. La compresión horizontal puede ser consecuencia de una contracción de la corteza (Landes, 1952; Lees, 1953; Sonder, 1956; Wilson, 1959), consecuencia a su vez de enfriamiento del manto, con formación dentro de él de minerales más densos, o erupción de lavas.

Ha habido muchos, durante las últimas décadas, que han subrayado la influencia de las corrientes de convención subcorticales (Holmes, 1945).

Según otras hipótesis, se forman en el interior de la corteza grandes bolsas en estado líquido y, como consecuencia de la expansión que acompaña al cambio de sólido a líquido, resulta alzamiento vertical (Rich, 1951; Wolfe, 1949; Van Bemmelen, 1954); se cree entonces que plegamiento y cabalgamiento son consecuencia de resbalamientos gravitativos a lo largo de los flancos de tales alzamientos verticales.

Sugirió Hess (1954) la importancia que podría tener la serpentinización de la peridotita por debajo de la discontinuidad de Mohorovičić, como causante de alzamiento, sobre todo en las depresiones oceánicas. De manera semejante la des-serpentinización debería causar hundimiento.

Ha indicado George C. Kennedy (1959) la ocurrencia de cambio de fase, próximos a la discontinuidad de Mohorovičić, tales como paso de gabro a eclogita. Mediante aporte de calor, los minerales de la zona alta del manto quedarían convertidos en las fases más densas que son características de la corteza y, como consecuencia, tendría lugar alzamiento. Por el contrario, una pérdida excesiva de calor ocasionaría la conversión de los

minerales de la parte baja de la corteza en las fases más densas características del manto, y como consecuencia tendría lugar depresión o hundimiento. Cualquier clase de pliegues o cabalgamientos podría resultar incidental a tales movimientos verticales. Pero, como el mismo Kennedy señala (1959, pág. 503), resulta difícil de conciliar con esta hipótesis la delgadez de la corteza existente bajo los océanos; no se alcanzarían, a tan someras profundidades, las presiones necesarias para convertir el gabbro en eclogita. La transición de cuarzo a coesita no sería probablemente un factor de importancia en el supuesto cambio reversible de corteza a manto. La presión necesaria para convertir el cuarzo en coesita (Boyd y England, 1959) sólo se alcanza a profundidades tan grandes que hay poco o nada de sílice libre presente.

Los movimientos verticales debidos a cargas y descargas, originados por el crecimiento y desvanecimiento de los mantos de hielo continentales, son consecuencia de condiciones especiales. Los de misma índole, debidos a la erosión y deposición de sedimentos, son, sin duda alguna, de importancia, aunque sea necesario acudir a algún otro proceso capaz de originar el alzamiento o depresión iniciales. El alzamiento de rocas más ligeras, a través de estratos subrayacentes más pesados, es importante en la ascensión de los domos salinos, y el alzamiento de magmas puede causar parte de la deformación en el interior de las bandas plegadas.

Formación de montañas

Hasta ahora hemos considerado los diversos procesos diastróficos que deforman la corteza terrestre. Pero, ¿qué es lo que tienen que ver estos procesos con la formación de montañas? En el pasado se equiparó, como ya se ha

dicho, la formación de montañas a los plegamientos y la compresión horizontal.

Otros geólogos ha habido ya que han reconocido la falacia de este concepto. Dice Wegman (1955, pág. 285): «...los movimientos orogénicos crearon el relieve (montañas y depresiones) ...los movimientos tectogénicos aparecen registrados en las múltiples estructuras de las masas de rocas», y entiende por movimientos tectónicos, plegamiento y fallamiento. Y añade: «Los dos movimientos no van necesariamente en compañía...». Dorr (1958), dice: «Teóricamente, parece deseable establecer diferencia entre orogenia y formación de montañas» y emplea aquí la voz y concepto orogenia como correspondiente a plegamiento y acabalgamiento. King (1959, pág. 90), dice: «De este modo, aunque el sistema de las Cordilleras empezó a crecer después que los Appalaches, su forma actual no está causada por plegamiento, fallas cabalgantes... Como en los Appalaches, ocurrieron después otros acontecimientos que tuvieron mayores efectos en la conformación de la superficie actual».

La formación de montañas es el resultado de un movimiento vertical de alzamiento, sea o no sea este alzamiento resultado indirecto de compresión horizontal. Pero, ¿podríamos considerar separadamente los movimientos de alzamiento de los hundimientos? Las gentes quedaron siempre impresionadas, desde los tiempos más remotos, por las cadenas de montañas, porque constituían barreras tan formidables como difíciles de cruzar. No les impresionaban tanto las depresiones porque estaban rellenas de agua, o bien por sedimentos, cosas ambas a través de las cuales eran mucho más fáciles los desplazamientos. Pero, tectónicamente, una depresión es tan importante como una cadena de montañas. Quizás la única diferencia reside en que la formación de una cade-

na de montañas, o de una mesa, exige trabajo en contra de la fuerza gravitativa.

La mayor parte de las modernas cadenas de montañas no son resultado directo de plegamiento. Se ha demostrado que muchas de entre ellas son consecuencia de epirogenésis —dictiogénesis, si nos animamos a emplear el término de Von Bubnoff— sin ninguna relación con plegamientos. Podemos citar como ejemplos las cadenas de los Appalaches, los Caledonides de Escandinavia, los Vosgos, las Selva Negra, las Rocosas y los Andes.

Mesas tales como los Plateaus Appalaches, y los de Colorado, son, evidentemente, el resultado de alzamiento regional y no de plegamiento.

Pero, ¿cuál es la causa de estos movimientos verticales? Podemos volver, con más detalle, sobre algunas de las hipótesis mencionadas en una parte anterior de este mismo trabajo. Una hipótesis popular, que, sin embargo, no ha sido demasiado meditada, supone que tales alzamientos retardados son resultado del reajuste isostático, como consecuencia de una raíz desarrollada bajo la acción de compresiones horizontales. Pero se pueden hacer severas objeciones a esta hipótesis. Una de ellas radica en el factor tiempo. En muchas cadenas, tales como las Laurénticas, los Torngats, las de Escandinavia y los Appalaches, el plegamiento tuvo lugar hace cientos de millones de años. En segundo lugar, entre la época de plegamiento y los alzamientos más recientes, estas cadenas —y también tendría validez para la Sierra Nevada— quedaron reducidas a superficies de bajo relieve. Además, como se señalará más tarde, la amplitud del alzamiento es excesiva en muchos casos, si se compara con la cantidad del acortamiento. Finalmente, la hipótesis no es capaz de explicar el alzamiento de mesas, tales como los Plateaus Appalaches y del Colorado.

Una segunda hipótesis es la de que los movimientos verticales de gran escala son resultado de compresiones horizontales, en que la costra se alabea en grandes ondulaciones con longitud de onda de cientos de millas. En Norteamérica oriental puede emplearse la superficie de Fall Line como plano de referencia para estudiar la formación del Mesozoico alto y del Terciario (fig. 19). Se vió deformada, sobre las montañas actuales, hasta formar un gran anticlinal, mientras que las partes más bajas yacen bajo los mares en la vertiente continental, o aún más lejos. La amplitud de este gran pliegue, es por lo menos, de cuatro millas. Si la costra hubiera experimentado mera compresión, hasta llegar a constituir este gran pliegue —cuya longitud de onda es de varios cientos de millas— la discontinuidad de Mohorovičić se encontraría, bajo los Appalaches, por lo menos cuatro millas más alta que bajo la vertiente continental. Pero los datos gravitativos indican que esto no es así. Lo cierto es que la base de la corteza yace más profunda bajo los Appalaches que bajo la Planicie Atlántica. No parece que la explicación para los amplios movimientos verticales de la corteza resida en la compresión horizontal.

Una tercera hipótesis es la de que el material siálico se desplaza, en profundidad, de unas a otras áreas. De tal teoría, si se aplica al caso de Norteamérica oriental, se desprende que, a partir de los tiempos del Mesozoico medio, hay una transferencia continua de material siálico desde debajo de la Planicie Atlántica en dirección a los Appalaches, bajo los cuales se ha estado acumulando. Pero constituye un problema discernir cuál sea la causa y cuál el efecto. ¿Es que la erosión y la sedimentación, durante el transcurso de cuyos fenómenos los materiales detríticos se desplazaron en dirección sureste, tuvieron como

contrapartida una fluencia de sial de Sureste a Noroeste? O ¿quizás el movimiento de sial, originado por corrientes de convección, tuvo como consecuencia una depresión de la Planicie Atlántica y un levantamiento en los Appalaches?

El alzamiento de la Cordillera Norteamericana presenta un problema, incluso más formidable. En el análisis de esta materia entran en juego los siguientes datos: 1) anchura, 1.000 millas; 2) altitud promedio, 1,5 millas; 3) anomalía Bouguer media, —150 miligalios (Lyons, 1950, mapa inédito); 4) grosor de la corteza con anterioridad a la revolución larámico-nevádica, que era de 18 millas, y 5) el hecho de que la región estaba, hasta el Jurásico alto, y en muchos sitios hasta el Cretáceo alto, próxima al nivel del mar y recibiendo sedimentos. Aunque análisis tan rápido como somero, pueda aparecer injustificado en una primera apreciación, un acopio de los estudios detallados de áreas reducidas llevaría, sin duda, a las mismas conclusiones. También se da por admitido que los datos referentes al valor de la gravedad merecen más confianza que algunos de los datos sísmicos referentes a este área (Tatel y Tuve, 1955; Woollard, 1959).

Mientras que las anomalías gravitativas señalan que el grosor promedio de la corteza bajo la Cordillera es de 28 millas, la altitud media sugiere, si aceptamos que imperan las circunstancias isotáticas, que el grosor de la corteza es de 32 millas (gráfico del trabajo de Woollard, 1959, página 1.535). Sería necesario un acortamiento de 40 por 100 para justificar tal raíz mediante compresión horizontal; o sea que el cinturón o banda que tiene ahora una anchura de 1.000 millas, habría medido originalmente 1.650 millas de lado a lado. Pero los datos disponibles indican, sin embargo, que el acortamiento fué mucho menor especialmente desde fines del Jurásico. La hipótesis

de la compresión no es adecuada para explicar el alzamiento de la Cordillera Norteamericana.

La Sierra Nevada nos ofrece algunos datos pertinentes. Axelrod (1957) dió recientemente una excelente razón

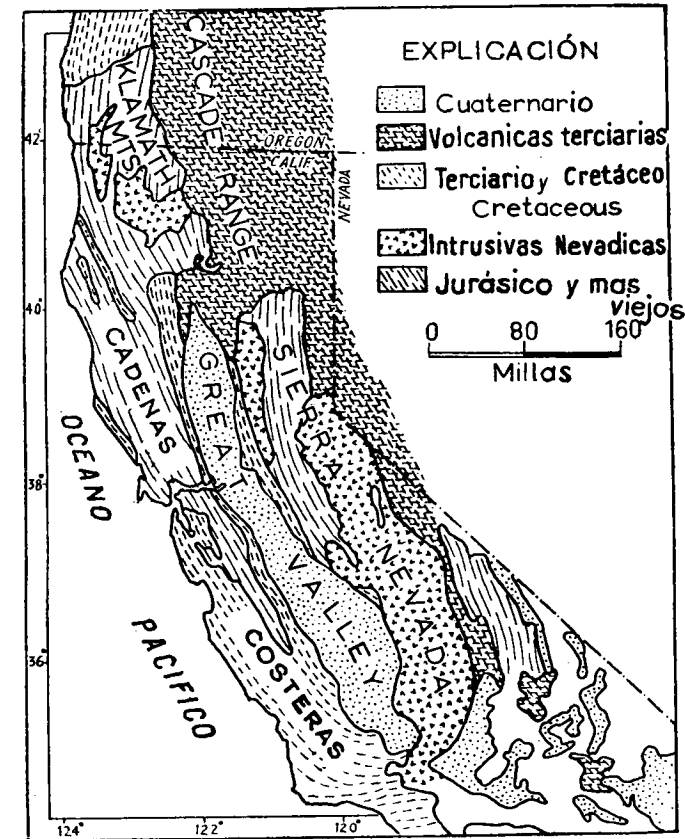


Fig. 31. — Arrumbamientos estructurales en California.

para el alzamiento de la Sierra Nevada durante las épocas del Terciario alto y del Cuaternario; en determinada área tuvo lugar alzamiento de 3.500 pies a lo largo de fallas, y además hubo un alzamiento adicional de 1.800 a

3.000 pies producido por alabeamiento. La raíz bajo la Sierra Nevada plantea un problema interesante. La *costa* siálica podría tener allí un grosor de 50 Km., doble que el de la «corteza normal» en la vecindad de la Costa del Pacífico (Tsuboi, 1956; ver también Press, 1956; Byerley, 1938; Gutenberg, 1943; Oliver, 1956). ¿Cuándo y cómo se originó esta raíz? Una de las hipótesis es la de que representa una reliquia de la revolución nevádica. Sin embargo existen objeciones de monta que oponer a esta idea. En primer lugar, el basamento pre-cretáceo bajo el Great Valley está, o así se opina, tan intensamente plegado como las rocas de misma edad en Sierra Nevada (fig. 31). ¿No debería haberse formado bajo lo que es ahora el Great Valley una raíz tan grande como bajo la Sierra Nevada? En segundo lugar. ¿Por qué yacía la Sierra en posición relativamente tan baja durante gran parte de la época terciaria? Sólo parece haber una contestación razonable —la raíz actual se ha debido formar en los tiempos del Terciario alto y del Cuaternario, pero con poco acortamiento cortical.

¿De dónde procederá todo este sial situado bajo la Sierra y bajo toda la Cordillera Norteamericana? Una posibilidad es la de que el sial haya sido transferido desde otras áreas, pero no parece encontrarse una procedencia (véase también Kennedy, 1959, pág. 494). Otra es la de un sial nuevo, escapado del manto, se haya acumulado bajo la Sierra en épocas recientes, lo que supone que la diferencia entre la corteza y el manto sea de orden químico sobre todo. Pero la cantidad es prodigiosa. Si se añadiese sial a la corteza al mismo ritmo, durante los tiempos pre-terciarios, los continentes resultarían mucho mayores. O, de acuerdo con las ideas de Kennedy, parte del manto puede haberse convertido en sial.

Un puro fallamiento con deslizamiento de rumbo, no

debe producir por sí mismo, normalmente, relieve alguno. El relieve local (fig. 32) puede ser consecuencia de que un área elevada sea llevada a la yuxtaposición con respecto a un área baja (Cotton, 1956, pág. 198), pero debe haber algún otro tipo de procesos que hayan producido las diferencias iniciales de relieve. Estas pueden resultar de que el fallamiento al rumbo haya ido acompañado por abombamiento o alabeamiento del blo-

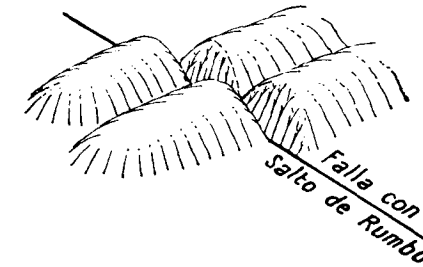


Fig. 32.-- Colinas de Shutter.
Según Cotton.

que en movimiento (fig. 33; Cotton, 1956, pág. 190) o por fallamiento cabalgante (fig. 34; Cotton, 1957, página 940). Ha sugerido Kingma (1958; 1959) que un bloque, comprendido entre dos fallas con deslizamiento en el sentido del rumbo, puede ser estrujado, con desplazamiento hacia arriba. Si los bloques están en condiciones de lograr desplazamiento lateral, no cambiará su forma, aunque cambien sus posiciones. Pero, si los bloques avanzan uno contra el otro, experimentan acortamiento en dirección perpendicular con respecto al arrumbamiento de las fallas; la expansión resultante puede muy bien ser vertical.

Es natural que nos preguntemos si el plegamiento y el acabalgamiento produce montañas. Con frecuencia

no hay prueba de ello. Ya hemos discutido el caso de la zona de Valley y Ridge. El plegamiento tuvo lugar en alguna época entre el Permiano bajo y el Triásico alto. En la época del Triásico alto la erosión había eliminado ya un espesor de estratos de varias millas de grueso, al menos en algunas áreas. ¿Adónde han ido a parar los productos de esa erosión? Nadie parece saberlo. Sin em-

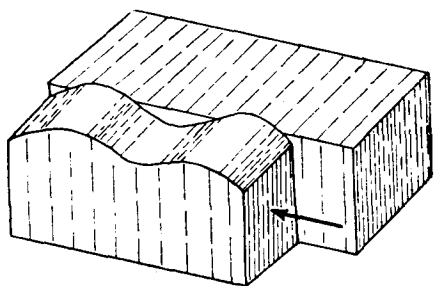


Fig. 33.—Alabeamiento asociado a fallamiento, con deslizamiento en el sentido del rumbo. Según Cotton.

bargo, y como señalamos antes, es posible que la erosión guardase el mismo ritmo que el plegamiento y que, como consecuencia, no se desarrollase relieve montañoso. No obstante, hay prueba de que se formaron montañas, como consecuencia de la revolución acádica del Devónico medio, en la región noreste de Estados Unidos y en la adyacente del Canadá. Las capas sedimentarias más modernas, entre las implicadas en el plegamiento acádico de New Hampshire, corresponde a la parte alta del Devónico inferior (Billings, 1956). Hay rocas ígneas sintectónicas que parecen ser del comienzo del Devónico medio. La banda plegada ocupaba la mayor parte de Nueva Inglaterra y se extendía, al parecer, en dirección suroeste bajo lo que es ahora la Planicie Costera. Ade-

más, es en esta época cuando se empezó a formar el delta del Catkill en Pennsylvania y Nueva York (Barrell, 1914). La erosión ha debido arrastrar una capa de rocas de 2 a 4 millas de espesor, del área de emplazamiento original al sureste de Nueva York y Pennsylvania, durante el Devónico.

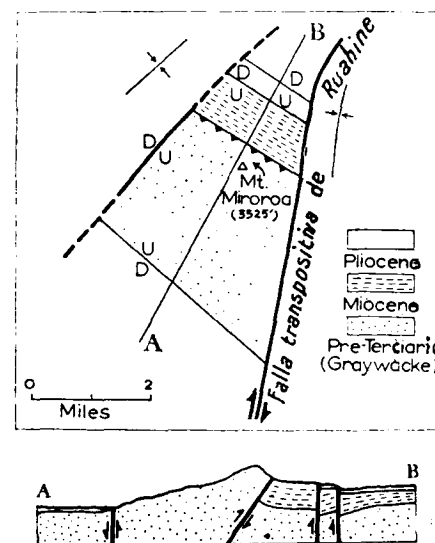


Fig. 34.—Falla cabalgante asociada con fallamiento de desplazamiento en el sentido del rumbo.

Zona del monte Miroroa en Nueva Zelanda.
Según Kingma y Cotton.

Demostró Spieker (1946) que las aportaciones de gravas cretáceas de la Mesa de Wasatch eran consecuencia de plegamientos ocurridos al oeste. Y Dorr (1958) ha mostrado que, en Wyoming occidental, el origen de los sedimentos clásticos de la depresión de Hoback reside en un cinturón de acabalgamientos de la época paleocena. En los Alpes, las molasas oligoceno-miocenas — areniscas con conglomerados—, se depositaron como consecuencia

de plegamientos y acabalgamientos ocurridos en el Oligoceno. Collet (1927, pág. 119), dice «...los Alpes se desplazaban hacia adelante, y los cantos se adelantaban a la cadena, conforme esta crecía, para después la cadena avanzar sobre sus propios detritus».

Llegamos, por consiguiente, a la conclusión de que plegamiento y acabalgamiento pueden tener como consecuencia la formación de montañas. Este alzamiento puede ser resultado directo del plegamiento —es decir del alzamiento de las crestas de los anticlinales—. Puede consistir también en un alzamiento isostático, consecuencia de la formación de una raíz.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El principal objeto de este trabajo ha sido el estudio de la importancia relativa de los diversos tipos de diastrofismo, en especial por lo que se refiere a su relación con respecto a la formación de montañas.

El plegamiento y acabalgamiento son los tipos de diastrofismo más espectaculares, al menos en lo que concierne a cambios en las formas de los cuerpos rocosos. No todos los geólogos están de acuerdo en aceptar que hayan quedado acortados los estratos plegados. La mayor parte de los geólogos americanos estarían de acuerdo en que había habido algún acortamiento, pero no en lo que se refiere a la magnitud en que ha quedado acortado el basamento, ni tampoco acerca de si hubiera habido reducción alguna en la circunferencia terráquea. La epirogenesis no es, ni mucho menos, tan espectacular como el plegamiento, porque no altera la forma de los cuerpos pétreos, pero produce, en cambio, notables y sorprendentes efectos topográficos. Cuando se desarrollan movimien-

tos verticales, acompañados por fallas importantes de gran ángulo, tienen como consecuencia efectos estructurales y topográficos de monta. Aunque hay algunas áreas en las que son importantes las grandes fallas con desplazamientos en el sentido del rumbo, y que muchos sismólogos creen que la mayor parte de los terremotos tienen su origen en fallas, en las que la componente al rumbo excede a la componente según la pendiente, tal tipo de fallas parece haber sido de importancia escasa en los pasados tiempos geológicos.

El problema de la formación de montañas constituye sólo una parte del conjunto de fenómenos relacionados con movimientos verticales dentro de la corteza terrestre. Durante muchas décadas ha habido el hábito de establecer ecuación de dependencia entre la formación de montañas y el plegamiento y acabalgamiento. Se creyó, en un principio, que el alzamiento era consecuencia directa del plegamiento, en forma semejante a lo que ocurre con el alzamiento de anticlinales en los experimentos en cajas de presión. Posteriormente se indicó que el alzamiento pudiera resultar incrementado por la elevación isostática de la raíz formada durante el plegamiento.

Aunque algunas montañas resultan, en apariencia, consecuencia de plegamientos, hay muchas que no derivan de ellos. Son, más bien, resultado de movimientos verticales que no tienen relación genética evidente con períodos anteriores de plegamiento. En algunas áreas las fracturas corticales desarrolladas durante estos movimientos verticales, producen montañas del tipo bloque-falla y fosas. Las raíces siálicas existentes bajo las modernas cadenas de montañas son de origen reciente y no tienen relación con los plegamientos más antiguos. También se pueden formar cadenas de montañas cuando existen

bloques comprendidos entre fallas al rumbo, que son estrujados en dirección ascendente.

No debería establecerse equivalencia entre formación de montañas y un tipo determinado de diastrofismo. Una teoría satisfactoria abarcante del diastrofismo y la formación de montañas debería explicar, entre otras cosas:

- 1) la compresión horizontal necesaria para la formación de bandas de estratos plegados y fallas cabalgantes;
- 2) movimientos amplios verticales, con o sin fallamientos de gran ángulo y sin relación con plegamientos;
- 3) amplios fallamientos con deslizamiento al rumbo.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMS, W. M.: *A study of earthquake mechanism using S wave data.* «Seismol. Soc. Am. Bull.», vol. 48, págs. 201-219, 1958.
- ANDERSON, E. M.: *The dynamics of faulting and dyke formation, with applications to Britain.* 2nd. ed. London, Oliver and Boyd 206 páginas, 1951.
- AXELROD, DANIEL I.: *Late Tertiary floras and the Sierra Nevada uplift.* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 68, págs. 19-46, 1957.
- BARRELL, JOSEPH: *The Upper Devonian delta of the Appalachian geosyncline.* «Am. Jour. Sci., 4th ser.», vol. 37, págs. 87-109, 225-253, 1914.
- BELAYEVSKIV, N. A., et al.: *Geologic structure of the U.S.S.R.* 3 vols., Moscow, Ministry of geology and Conservation of Mineral Resources, U.S.S.R., 1303 págs. (in Russian), 1958.
- BELOUSSOV, V. V.: *Types of folding and their origin.* «Intern. Geology Rev.», vol. 1, núm. 2, págs. 1-21, 1959.
- BENTZ, A.: *Erdöl und Tektonik in Nordwestdeutschland.* Hannover-Celle, Amt für Bodenforschung, 389 págs., 1949.
- BILLINGS, MARLAND P.: *Structural geology.* 2d ed. New York, Prentice-Hall, 514 págs., 1954.
- — *Geology of New Hampshire, Part II. Bedrock geology.* New Hampshire Planning and Development Comm., 203 págs., 1956.
- — RODGERS, J., and THOMPSON, J. B., JR.: *Geology of the Appalachian Highlands of east-central New York, southern Vermont, and southern New Hampshire.* Guidebook for Field Trips in New England, nov. 10-12, 1952, págs. 1-71.
- BIRCH, F.: *Flow of heat in the Front Range, Colorado.* «Geol. Soc. America Bull.», vol. 61, págs. 567-630, 1950.
- — Lecomte, P.: *Plane of albite composition to 1,000° C. and*

- 26,000 bars (Abstract).* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 69, pág. 1760, 1958.
- BOYD, F. R., and ENGLAND, J. L.: *Quartz coesite transition (Abstract).* «Jour. Geophys. Research», vol. 64, pág. 1095, 1959.
- BUCHER, WALTER H.: *Role of gravity in orogenesis.* «Geol. Soc. America Bull.», vol. 67, págs. 1295-1318, 1956.
- BYERLY, P.: *The Montana earthquake of June 28, 1925, G.M.C.T.* «Seismol. Soc. Am. Bull.», vol. 16, págs. 209-265, 1926.
- — *The Sierra Nevada in the light of isostasy.* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 48, pág. 48, págs. 2025-2031, 1938.
- CADISCH, J.: *On some problems of alpine tectonics.* «Experientia», vol. 2, págs. 18-23, 1946.
- CAREY, S. WARREN: *The rheid concept in geotectonics.* «Geol. Soc. of Australia Jour.», vol. 1, págs. 67-117, 1954.
- — Couvener: *Continental drift, a symposium.* «Hobart, Univ. Tasmania, Geology Rept», 375 págs., 1958.
- CHAMBERLIN, R. T.: *The Appalachian folds of central Pennsylvania.* «Jour. Geology», vol. 18, págs. 228-251, 1910.
- — *The building of the Colorado Rockies.* «Jour. Geology», vol. 27, págs. 145-164, 225-235, 1919.
- CLARK, S. P., JR.; ROBERTSON, E. C., and BIRCH, F.: *Experimental determination of kyanite-sillimanite equilibrium relation of temperatures and pressures.* «Am. Jour. Sci.», vol. 255, págs. 628-640, 1957.
- CLOOS, E.: *Crustal shortening and axial divergence in the Appalachians of southeastern Pennsylvania and Maryland.* «Geol. Soc. America Bull.», vol. 51, págs. 845-872, 1940.
- CLOOS, HANS: *Hebung, Spaltung, Vulkanismus.* «Geol. Rundschau», vol. 30, págs. 406-527, 1939.
- — *Grundschollen und Erdnähte.* «Geol. Rundschau», vol. 35, páginas 133-154, 1948.
- — *Der Schwarzwald.* «Mitt. Natur. Gesell. Schaffhausen», Bd. XXIV, págs. 1-6, 1951-1952.
- COHEE, GEORGE, Editor (in press): *Tectonic map of the United States.* «U. S. Geol. Survey and Am. Assoc. Petroleum Geologists».
- COLLET, LEON W.: *The structure of the Alps.* London, Edward Arnold and Co., 289 págs., 1927.
- COOPER, BYRON H.: *Geology and mineral resources of the Burkes Garden quadrangle, Virginia.* «Va. Geol. Survey Bull.», 60, 299 págs., 1944.
- COTTON, C. A.: *Tectonic scarps and fault valleys.* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 61, págs. 717-758.
- — *Geomechanics of New Zealand mountain building.* «New Zealand Jour. Sci. Technology», section B, vol. 38, págs. 187-200, 1956.
- — *An example of transcurrent-drift tectonics.* «New Zealand Jour. Sci. and Tech.», section B, vol. 38, págs. 939-942, 1957 a.
- — *Geomorphic evidence and major structures associated with transcurrent faults in New Zealand.* «Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique» (2), vol. 1, fasc. 1, págs. 16-30, 1957 b.

- CREER, K. M.: *Symposium on paleomagnetism and secular variation*. «Roy. Astron. Soc. Geophys. Journ.», vol. 1, núm. 1, págs. 99-105, 1958.
- CURRIE, JOHN B.: *Concurrent deposition and deformation in development of salt-dome graben*. «Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.», vol. 40, págs. 1-16, 1956.
- DALY, R. A.: *Strength and structure of the earth*. New York, Prentice Hall, Inc., 434 págs., 1940.
- DE SITTER, L. U.: *Structural geology*. New York, McGraw-Hill Book Co., Inc., 552 págs., 1940.
- DOELL, B. R., and COX, A.: *Analysis of paleomagnetic data (Abstract)*. «Geol. Soc. America Bull.», vol. 70, pág. 1590, 1959.
- DORN, PAUL: *Geologie von Mitteleuropa*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche, 474 págs., 1951.
- DORR, JOHN A., JR.: *Early Cenozoic vertebrate paleontology, sedimentation and orogeny in central western Wyoming*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 69, págs. 1217-1244, 1958.
- EARDLEY, A. J.: *Strong relief before block faulting in the vicinity of the Wasatch Mountains, Utah*. «Jour. Geology», vol. 41, págs. 243-257, 1933 a.
- — *Structure and physiography of the southern Wasatch Mountains*. «Mich. Acad. Sci.», Arts and Letters, Papers, vol. 19, págs. 377-400, 1933 b.
- — *Structural geology of North America*. New York, Harper and Bros., 624 págs., 1951.
- EWING, M.; WORZEL, J. L.; STEENLAND, N. C., and PRESS, F.: *Geophysical investigations in the emerged and submerged Atlantic Coastal Plain, Part I, Woods Hole, New York, and Cape May sections*. «Geol. Soc. America Bull.», vol. 61, p. 877-892.
- FISK, H. N., and McFARLAN, E., JR.: *Late Quaternary deltaic deposits of the Mississippi River*. Págs. 279-302; in POLDERVAART, ARIE, Editor: *Crust of the earth*. «Geol. Soc. Am. Spec.», Paper 62, 762 páginas, 1955.
- FLAWN, PETER T.: *The Ouachita structural belt*. Págs. 20-29; in *Geology of the Ouachita Mountains, a Symposium*. «Dallas Geol. Soc. and Ardmore Geol. Soc.», 208 págs., 1959.
- FLINT, RICHARD F.: *Glacial and Pleistocene geology*. New York, John Wiley and Sons, Inc., 553 págs., 1957.
- GILBERT, GROVE K.: *Lake Bonneville*. «U. S. Geol. Survey», Mon. 1, 438 págs., 1890.
- GILLULY, JAMES: *Geology and ore deposits of the Stockton and Fairfield quadrangles, Utah*. «U. S. Geol. Survey Prof.», Paper 173, 171 páginas, 1932.
- GOLD, T.: *Instability of the earth's axis of rotation*. «Nature», vol. 175, págs. 526-529, 1955.
- GREGORY, J. W.: *The rift valleys and geology of East Africa*. London, Seeley, Service and Co., Ltd., 479 págs., 1921.

- GUTENBERG, B.: *Seismological evidence for the roots of mountains*. «Geol. Soc. America Bull.», vol. 54, págs. 473-498, 1943.
- — *Discrepancies between thickness of the crust calculated from seismic and from gravity data (Abstract)*. «Am. Geophys. Union Trans.», vol. 38, pág. 392, 1957.
- HACK, JOHN T.: *Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland*. «U. S. Geol. Survey Prof.», Paper 204, págs. 45-97, 1957.
- HALBOUTY, MICHEL, T., and HARDIN, GEORGE C., JR.: *A geological appraisal of present and future exploration techniques on salt domes of the Gulf Region of the United States*. «5th World Petroleum Cong.», Section I, Paper 5, 13 págs., 1959.
- HALLER, JOHN: *Probleme du Tiefentektonik Bauformen in Migmatit Stockwerk der Ostgrönlandischen Kaledoniden*. «G. ol. Rundschau», Bd. 45, págs. 159-167, 1956.
- HAMMER, S., and HECK, S. T.: *A gravity profile across the central Appalachians, Buckkannon, West Virginia, to Swift Run Gap, Virginia*. «Am. Geophys. Union Trans. Pt. II, 22nd Annual Meeting», págs. 353-362, 1941.
- HEIM, ALBERT: *Geologie der Schweiz*, vol. 1, 704 págs., 1919; vol. II, 1018 págs., 1921. Leipzig, Chr. Herm. Tauchnitz.
- HENNIG, E.: *Regionale Geologie der Erde, Bd. 1, Abs. V, Afrika*. «Akademische Verlagsgesellschaft M. B. H.», Leipzig, 142 págs., 1938.
- HESS, H. H.: *Serpentines, orogeny, and epeirogeny*. Págs. 391-408; in POLDERVAART, ARIE, Editor: *Crust of the earth*. «Geol. Soc. America Spec.», Paper 62, 762 págs., 1954.
- — MAXELL, J. C.: *Caribbean research project*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 64, págs. 1-6, 1953.
- HILL, MASON L., and DIBBLEE, T. W., JR.: *San Andreas, Garlock, and Big Pine faults, California*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 64, págs. 443-458, 1953.
- HINDS, NORMAN E. A.: *Evolution of the California landscape*. «Calif. Div. Mines Bull.», 158, 240 págs., 1952.
- HOBBS, W. H.: *The river system of Connecticut*. «Jour. Geology», vol. IX, págs. 469-484, 1901.
- — *Lineaments of the Atlantic border region*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 15, págs. 483-506, 1901.
- — *The correlation of fracture systems and the evidences for planetary dislocations within the earth's crust*. «Wis. Acad. Sci.», Arts and Letters Trans., vol. XV, págs. 15-29, 1905.
- — *Repeating patterns in the relief and the structure of the land*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 22, págs. 123-176, 1911.
- HODGSON, JOHN H.: *Nature of faulting in large earthquakes*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 68, págs. 611-644, 1957.
- HODGSON, J. H., Editor: *The mechanics of faulting with special reference to the faultplane work, a symposium (1957)*. «Publ. of Dominion Observatory», Ottawa, vol. XX, págs. 251-418, 1959.

- HOLMES, ARTHUR: *Principles of physical geology*. New York, The Ronald Press Company, 532 págs., 1945.
- JOHNSON, DOUGLAS: *Stream sculpture of the Atlantic slope*. New York, Columbia Univ. Press, 142 págs., 1931.
- KELLEY, VICENT C.: *Regional tectonics of the Colorado Plateau and relationship to the origin and distribution of uranium*. «Univ. N. Mex., Pub. Geology», núm. 5, 120 págs., 1955.
- KENNEDY, GEORGE C.: *The origin of continents, mountain ranges, and ocean basins*. «Am. Scientist», vol. 47, págs. 491-504, 1959.
- KENNEDY, W. Q.: *The Great fault*. «Geol. Soc. London Quart. Jour.», vol. CI, págs. 41-76, 1946.
- KING, P. B.: *The tectonics of middle North America*. Princeton, Princeton Univ. Press, 203 págs., 1961.
- — *The evolution of North America*. Princeton, Princeton Univ. Press, 190 págs., 1959.
- KINGMA, J. T.: *Possible origin of piercement structures, unconformities, and secondary basins in the eastern geosyncline, New Zealand*. «N. Z. Jour. Geology and Geophysics», vol. 1, págs. 269-274, 1958.
- — *The tectonic history of New Zealand*. «New Zealand Jour. Geology & Geophysics», vol. 2, págs. 1-55, 1959.
- KNOPP, A., and KIRK, E.: *A geological reconnaissance of the Inyo Range and the eastern slope of the Sierra Nevada, California*. «U. S. Geol. Survey Prof.», Paper 110, 130 págs., 1918.
- KNOPOFF, L., and GILBERT, F.: *Radiation from a strike-slip fault*. «Seismol. Soc. Am. Bull.», vol. 49, págs. 163-178, 1959.
- — GILBERT, F.: *First motions from seismic sources*. Seismol. Soc. Am. Bull., vol. 50, págs. 117-134, 1960.
- KRENKEL, E.: *Die Bruchzonen Ostafrikas*. Berlin, Gebrüder Borntraeger, 184 págs., 1922.
- KUENEN, PH. H.: *Marine geology*. New York, John Wiley and Sons, Inc., 568 págs., 1950.
- LANDES, K. K.: *Our shrinking globe*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 63, págs. 225-239, 1952.
- LAWSON, A. C.: *San Francisco folio*. «U. S. Geol. Survey, Geol. Atlas of the United States», 1914.
- LEES, G. M.: *The evolution of a shrinking earth*. «Geol. Soc. London Quart. Jour.», vol. 109, págs. 217-257, 1953.
- LONGWELL, C. R., Editor: *Tectonic map of the United States*. «Am. Assoc. Petroleum Geologists», 1944.
- — *My estimate of the continental drift concept*. Págs. 1-12; in CAREY, S. W., Convener: *Continental drift*. Hobart, Univ. Tasmania Geology Dept., 375 págs., 1958.
- MANSFIELD, G. R.: *Geology, geography, and mineral resources of southeastern Idaho*. «U. S. Geol. Survey Prof.», Paper 152, 409 págs., 1927.

- MASON, R. G.: *A magnetic survey off the west coast of the United States between latitudes 32° and 36° N., longitudes 121° and 128° W.* «Geophys. Jour.», vol. 1, págs. 320-329, 1958.
- MAXON, JOHN H.: *Physiographic features of the Panamint Range, California*. «Geol. Soc. America Bull.», vol. 61, págs. 99-114, 1950.
- MAXWELL, J. C.: *Geology of the Northern Apennines, by Giovanni Merla; Composite wedges in orogenesis, by Carlo I. Migliorini*. «Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.», vol. 37, págs. 2196-2202, 1953.
- MCINTYRE, DONALD B., and CRISTIE, JOHN M.: *Nature of faulting in large earthquakes*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 68, págs. 645-652, 1957.
- MCNISH, A. G., and JOHNSON, E. A.: *Determination of the secular variation in declination in New England from magnetic polarization of glacial varves.*, «Intern. Geod. Geophys. Union, Assoc. Terrestrial Magnetism and Electricity, Trans., Washington Meeting, sept. 4-15, 1939», «Bull.», núm. 11, págs. 339-347, 1940.
- MENARD, HENRY W.: *Deformation of the northeastern Pacific basin and the west coast of North America*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 66, págs. 1149-1198, 1955.
- MESHCHERYAKOV, YU. A.: *Contemporary movements in the earth's crust*. «Intern. Geology Rev.», vol. 1, núm. 8, págs. 40-51.
- «Am. Jour. Sci.», vol. 256, págs. 97-110, 1958.
- MOODY, J. D., and HILL, M. J.: *Wrench fault tectonics*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 67, págs. 1207-1246, 1956.
- MOORE, R. C.: *Late Paleozoic cyclic sedimentation in the central United States*. «18th Intern. Geol. Cong. Rept.», pt. IV, págs. 5-16, 1950.
- MULLE, S. W.; FERGUSSON, H. G., and ROBERTS, R. J.: *Geology of the Mount Tobin quadrangle, Nevada*. «U. S. Geol. Survey, Geol. Quad. Maps of the United States», núm. 7, 1951.
- MUNK, W. H.: *Polar wandering: a marathon of errors*. «Nature», vol. 177, págs. 551-554, 1956.
- MURRAY, GROVER, E., et al.: *Sedimentary volumes in Gulf Coastal Plain of United States and Mexico*. «Geol. Soc. America Bull.», vol. 63, págs. 1157-1228, 1952.
- NAGATA, T.: *Rock magnetism*. Tokyo, Maruzen Co., Ltd., 225 págs. 1953.
- NETTLETON, I. L.: *Fluid mechanics of salt domes*. «Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.», vol. 18, págs. 1175-1204, 1934.
- — *Relation of gravity to structure in the northern Appalachian area*. «Geophysics», vol. 6, págs. 270-286, 1941.
- NOLAN, THOMAS B.: *The Basin and Range province in Utah, Nevada, and California*. «U. S. Geol. Survey Prof.», Paper 197, págs. 141-196, 1943.
- OBERHOLZER, J.: *Geologie der Glarneralpen*. «Beiträge Geol. Karte der Schweiz, Neu Folge», Lieferung 28, 1933.
- OLIVER, HOWARD W.: *Isostatic compensation for the Sierra Nevada, California (Abstract)*. «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 67, págs. 1724, 1956.
- PIERCE, W. G.: *Heart Mountain and South Fork detachment thrusts*. «Am. Assoc. Petroleum Geologists», vol. 41, págs. 591-626, 1957.

- PRESS, FRANK: *Determination of crustal structure from phase velocity of Rayleigh waves. Part I: Southern California.* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 67, págs. 1647-1658, 1956.
- PUTNAM, WILLIAM C.: *Geomorphology of the Ventura region, California.* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 53, págs. 691-754.
- RICH, JOHN L.: *Origin of compressional mountains and associated phenomena.* «Geol. Soc. America Bull.», vol. 62, págs. 1179-1222, 1951.
- RICHTER-BERNBERG, G., and SCHOTT, WOLFRANG: *The structural development of northwest German salt domes and their importance for oil accumulation.* 5th World Petroleum Cong., Section I, Paper 4, 13 páginas, 1959.
- ROBERTSON, E. C.; BIRCH, F., and MACDONALD, G. J. F.: *Experimental determination of jadeite stability relation to 25,000 bars.* «Am. Jour. Sci.», vol. 255, págs., 115-137, 1957.
- ROD, EMILE: *Strike-slip faults of northern Venezuela.* «Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.», vol. 40, págs. 457-476.
- RODGERS, JOHN: *Evolution of thought on structure of middle and southern Appalachians.* «Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.», vol. 33, páginas 1643-1654, 1949.
- RUNCORN, S. K.: *Paleomagnetic survey in Arizona and Utah.* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 67, págs. 301-316, 1956.
- SCHNEIDER, A. E.: *The physics of orogenesis in the light of new seismological evidence.* «Royal Soc. Canada Trans.», vol. XLIX, ser. III, págs. 65-83, 1955.
- — *Table of Russian fault plane solutions.* «Publ. Dominion Observatory», vol. XIX, págs. 99-109, 1957 a.
- — *Distribution of seismic faulting in the world.* «Geofísica pura e aplicada», vol. 38, págs. 1-9, 1957 b.
- — *On fault plane solutions of earthquakes.* «Geofísica pura e aplicada», vol. 39, págs. 13-18, 1958 a.
- — *Tectonophysical significance of fault plane solutions of earthquakes.* «Geofísica pura e aplicada», vol. 39, págs. 19-25.
- SHACKLETON, R. M.: *Pleistocene movements in the Gregory Rift Valley.* «Geol. Rundschau», vol. 43, págs. 257-263.
- SHARP, R. P.: *Basin-Range structure of the Ruby-East Humboldt Range, northeastern Nevada.* «Geol. Soc. America Bull.», vol. 50, págs. 881-920, 1939.
- SONDER, R. A.: *Mechanik der Erde, Stuttgart, B. Schweizerbart'sche.* 291 págs. Reviews by: H. H. Suter, «Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.», vol. 41, págs. 764-773, 1957; A. G. Fischer, «Am. Journ. Sci.», vol. 256, págs. 139-142, 1958.
- — VÉNING MEINESZ, F. A.: *Discussion of «Shear patterns of the earth's crust» by F. A. Vening Meinesz.* «Am. Geophys. Union Trans.», vol. 28, págs. 939-946, 1947.
- SPANGLER, WALTER B.: *Subsurface geology of Atlantic Coastal Plain of North Carolina.* «Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.», vol. 84, páginas 106-132, 1950.

- SPIEKER, EDMUND: *Late Mesozoic and early Cenozoic history of central Utah.* «U. S. Geol. Survey Prof.», Paper 205, págs., 117-161, 1946.
- STEBLI, FRANCIS G.: *Possible Permian climatic zonation and its implications.* «Am. Jour. Sci.», vol. 255, págs. 607-618, 1957.
- SVAIX, FREDERICK M.: *Ostracoda from wells in North Carolina.* «U. S. Geol. Survey Prof.», Paper 234, 93 págs., 1952.
- TATEL, H. E., and TUVE, M. A.: *Seismic exploration of a continental crust.* Págs. 35-50; in POLDEVAART, ARIE, Editor: *Crust of the earth.* «Geol. Soc. America Special», Paper 62, 762 págs., 1955.
- TOCHER, DONALD, et al.: *The Dixie Valley-Farview Peak, Nevada, earthquakes of December 16, 1954.* «Seismol. Soc. Am. Bull.», vol. 47, páginas 299-306, 1957.
- TSUBOI, CHUJI: *Crustal structure in northern and middle California from gravity-pendulum data.* «Geol. Soc. Am. Bull.», vol. 67, págs. 1641-1646, 1956.
- UMBROVE, J. H. F.: *Recent theories of polar displacement.* «Am. Jour. Sci.», vol. 244, págs. 105-113, 1946.
- UPHAM, WARREN: *Wave-like progress of an epeirogenic uplift.* «Jour. Geology», vol. 2, págs. 383-395, 1894.
- VAN BEMMELEN, REIN W.: *Mountain building.* The Hague, Martinusnijhoff, 177 págs., 1954.
- VAN DER GRACHT, W. A. J. M. VAN WATERSCHUOT, Editor: *Theory of continental drift.* «Am. Assoc. Petroleum Geologists», 240 págs., Tulsa, 1928.
- VÉNING MEINESZ, F. A.: *Spanningen in de aardkorst tengevolge van poolverschuivingen.* «Nederl. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk.», Verslag. dl. 52, núm. 5, págs. 185-196, 1943.
- — *Shear patterns of the earth's crust.* «Am. Geophys. Union Trans.», vol. 28, págs. 1-61, 1947.
- VOX BURNOFF, SERGE: *Grundprobleme der Geologie.* Berlin, Akademie-Verlag 234 págs., 1954.
- WANLESS, H. R.: *Late Paleozoic cycles of sedimentation in the United States.* «18th Intern. Geol. Cong. Rept.», part IV, págs. 17-26, 1950.
- — WELLS, J. M.: *Correlation and extent of Pennsylvanian cyclothems.* «Geol. Soc. America Bull.», vol. 43, págs. 1003-1016, 1932.
- WEGENER, ALFRED: *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane.* «Sammlung Vieweg, Heft 23, Braunschweig (Brunswick, Germany)», 94 páginas, 1915.
- — *The origin of continents and oceans, translated from 3rd German edition by J. G. A. Skerl.* London, Methen and Co., Ltd., 212 páginas, 1924.
- WEGMAN, E.: *Vue d'ensemble sur les travaux de la reunion de printemps 1954 a Mayence.* «Geol. Rundschau», vol. 43, págs. 273-306.
- WELLMAN, H. W.: *New Zealand Quaternary tectonics.* «Geol. Rundschau», vol. 43, págs. 248-257, 1955.

- — *Structural outline of New Zealand*. «New Zealand Dept. Sci. Indus. Research Bull.», 121, 36 págs., 1956.
- WILSON, J. TUZO: *Geophysics and continental growth*. «Am. Scientist», vol. 47, págs. 1-24, 1959.
- WOLFE, C. W.: *The blister hypothesis and the orogenic cycle*. «New York Acad. Sci. Trans.», ser. 2, vol. 2, págs. 188-195, 1949.
- WOOLLARD, GEORGE P.: *Transcontinental gravitational and magnetic profile of North America and its relation to geologic structure*. «Geol. Soc. America Bull.», vol. 54, págs. 747-790, 1943.
- — *Gravity anomalies and the nature of the earth's crust*. «Am. Geophys. Union Trans.», vol. 30, págs. 189-201, 1949.
- — *Crustal structure from gravity and seismic measurements*. «Jour Geophys. Research», vol. 64, págs. 1521-1544, 1959.

MANUEL MARIA DE ALVARADO Y ARILLAGA

FOTOGEOLOGIA

RESUMEN

Dentro del extenso instrumental de que se vale hoy día la Ciencia de la Fotogrametría, el fotogeólogo tiene sus necesidades propias que quedan casi englobadas por aquel conjunto, pero no del todo, pues sus exigencias, que es necesario satisfacer, son algo peculiares. De este modo, para el buen funcionamiento y desarrollo de un Departamento de Fotogeología importante, el contacto íntimo con especialistas en Fotogrametría es imprescindible, y así, con el consejo y ayuda de estos últimos, el fotogeólogo se encontrará en condiciones, tanto de diseñar nuevos aparatos especiales aptos para obtener un Mapa Geológico a partir de fotografías aéreas, como para discernir qué parte del instrumental fotogramétrico, ya existente, es más adecuado a sus fines.

SUMMARY

Among the numerous instruments, used today for photogrammetric purposes, the photogeologist has his own necessities which are almost comprehended in that assembly, but not completely because his wishes are something peculiar. So that the close contact with photogrammetrists is really important for the good development of a laboratory of Photogeology and, with advice and help of these people, the photogeologist may be in position of designing new instruments and of applying the old ones properly.

III. ESTEREOSCOPIOS Y ANAGLIFOS

Entre los cientos de aparatos que rodean al fotogeólogo, de algunos de los cuales hablaremos ligeramente en otro capítulo, nos parecen de la mayor importancia los

estereoscopios y anaglifos, ya que en ellos es donde generalmente se realiza la interpretación geológica de las fotografías que es la labor esencial y específica del geólogo, porque otras, que también suele llevar a cabo en muchas ocasiones, como ejecución de un mapa base, traslado de las anotaciones fotográficas a un mapa final, etcétera, quizás fuera más productivo a menudo que fueran hechas por personal auxiliar. Existen otros instrumentos de gran complicación y elevado precio como los Autógrafos, Estereoplanímetros y Estereocomparadores, que podrían ser utilizados por el geólogo en vez de estereoscopios y anaglifos, pero en la práctica casi nunca sucede, puesto que su gran ventaja, que es la alta precisión, no reporta grandes beneficios en la confección de un mapa geológico, cuyo éxito reside mucho más en la acertada interpretación de las estructuras, que en el exacto trazado de un contacto entre dos formaciones. De ellos no hablaremos en absoluto.

Concretamente para nosotros, geólogos españoles, abrumados siempre por la escasez de medios, serán los estereoscopios y no los anaglifos nuestra principal arma fotogeológica. La diferencia de precio en favor de los primeros es notable y no hay labor fundamental que no pueda ser realizada con ellos. Los anaglifos o aparatos de proyección doble constituyen lo que pudiéramos llamar el material de lujo de la Fotogeología y aunque la visión tridimensional de un paisaje, que con ellos se obtiene, es muy impresionante, creemos que su adquisición no es demasiado aconsejable por ahora, sobre todo, teniendo en cuenta las dificultades de repuestos y averías, al no ser España país fabricante, y la penuria que aún tenemos de estereoscopios sencillos que forman el primer y fundamental peldaño de la larga escala de aparatos fotogeológicos.

Estereoscopios.

En el capítulo anterior hemos tratado de explicar los fenómenos de la visión en relieve con estos aparatos. Los estereoscopios se clasifican en tres categorías:

- De lentes.
- De espejos.
- De prismas.

Los estereoscopios de espejos, suelen tener lentes, y los de prismas frecuentemente tienen espejos y lentes; los primeros son, pues, los más sencillos y los últimos los más complicados. De cada una de estas categorías hay innumerables tipos, debido a modificaciones sin trascendencia, según la firma constructora y el modelo, de modo que trataremos de uno cualquiera de ellos que consideraremos representativo.

De los estereoscopios de lentes o de bolsillo, llamados así por su pequeño tamaño, probablemente el más conocido sea el modelo CF-8 de Abrams Instrument Corporation (Lansing, Michigan), y sea con fines geológicos, fotogramétricos, militares u otros, será seguramente el instrumento estereoscópico más extendido en el mundo actualmente.

Su construcción (fig 9), no puede ser más sencilla. Tiene un ajuste interpupilar de 55 a 75 mm. La distancia focal de las lentes es de $4\frac{1}{2}$ " y la amplificación es de cuatro veces. Cuando las patas se pliegan, las dimensiones son $3\frac{1}{2}$ " \times $2\frac{5}{8}$ " \times $4\frac{7}{8}$ " y el peso 10 onzas. La misma firma Abrams construye otros modelos con almohadillado para apoyar la frente, o cambiando la distancia de las

lentes a las fotografías y la cantidad de amplificación mediante una posición intermedia de las patas y la superposición de un segundo par de lentes removibles. Otro de sus tipos lleva intercalado entre las patas una barra micrométrica (parallax bar), con objeto de medir diferencias de paralaje y altitudes, lo cual será explicado más adelante, etc. Gordon Enterprises (North Hollywood, California) fabrica un tipo parecido al CF-8 de Abram, pero con una amplificación de sólo dos veces y Harrison C. Kyker Inc. (Oakland, California) es constructora de un estereoscopio de bolsillo, en el cual el par de lentes queda unido a un soporte alejado por medio de una larga varilla, y las lentes son prismáticas, lo cual permite tener las fotografías separadas, y para lograr visión tridimensional de todo el modelo estereoscópico no hay necesidad de ir levantando paulatinamente una de las fotografías del par, como sucede con el vulgar estereoscopio de lentes.

La amplificación más corriente en estereoscopios de lentes es de dos a tres veces, aunque en algunos tipos se llega hasta siete.

En el cuadro de la figura 10 hemos procurado realizar un estudio comparativo de las distintas clases de estereoscopios, ennumerando las ventajas y desventajas de cada una. Cuando nos referimos a estereoscopios de prismas, lo hacemos pensando en aquéllos que también tienen lentes y espejos como el Old Delft, holandés, ya que hay estereoscopios de prismas simplísimos, incluso constituidos únicamente por un prisma unido por una varilla a un armazón parecido a las tapas de un libro donde se colocan las fotografías, cuyas características nada tienen que ver con las señaladas en el cuadro.

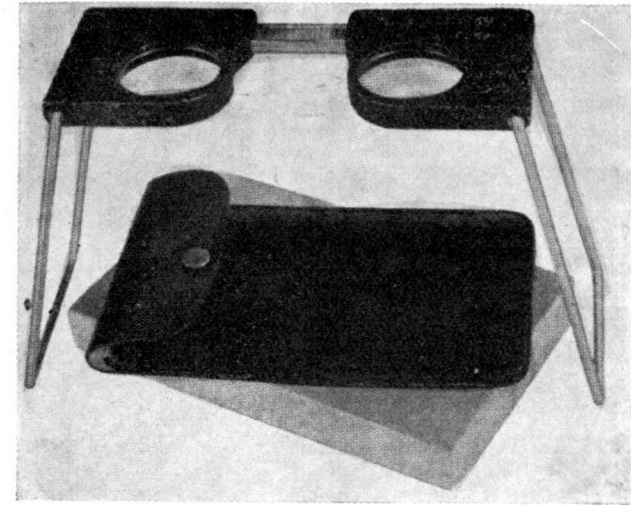


Fig. 9

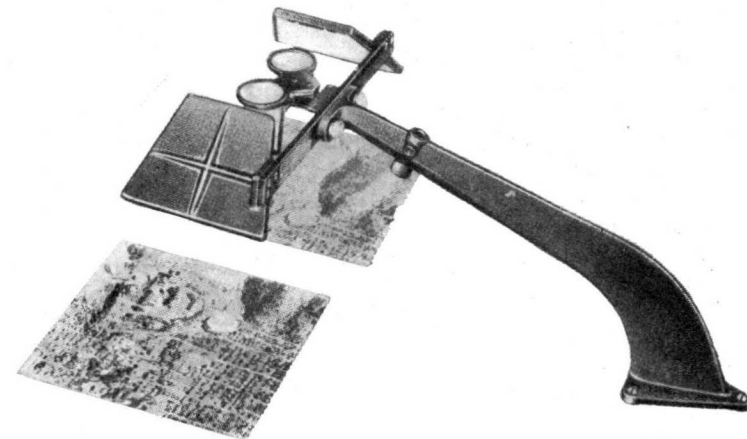


Fig. 11



	ESTEREOSCOPIOS		
	LENTES	ESPEJOS	PRISMAS
Precio	Bajo	Regular	Alto
Portabilidad	Muy buena	Regular	Regular
Sencillez de construcción	Mucha	Bastante	Poca
Amplificación	Pequeña	Grande	Grande
Distorsión	Mucha	Poca	Muy poca
Pérdida de luz	Muy poca	Poca	Bastante
Confortabilidad de postura	Mala	Mala	Buena
Confortabilidad de manejo	Mala	Buena	Muy buena
Amplitud de campo de visión	Pequeña	Grande	Grande
Inclinación aparente del terreno	Ninguna	Ninguna	45°
Posibilidad de usar dos a la vez	No	No en general	Si

Fig. 10

Dadas las condiciones de precio, portabilidad y solidez de los estereoscopios de bolsillo, resultan insustituibles para la labor de campo; en cambio, su empleo, aunque sabemos que tiene abundantes partidarios, en un Laboratorio de Fotogeología bien montado, no nos parece en absoluto aconsejable. La reducida amplificación que suelen tener es un defecto de menor importancia que el de la gran cantidad de distorsión que introducen en la imagen. Esto sí que es grave, sobre todo cuando se trata de interpretaciones estructurales. El efecto de «salse-ra» es a veces muy notable, y menos mal cuando la presencia de dispositivos morfológicos forzosamente horizontales (aunque los veamos de otra forma) como un lago, o capas que sabemos *a priori* no inclinadas, o depósitos modernos horizontales, nos permiten darnos

cuenta de su existencia. Según ya dijimos en el capítulo anterior, la posición de nuestros ojos; justamente en las verticales de las imágenes del punto que estamos observando, posición que necesariamente hemos de adoptar al emplear el estereoscopio de bolsillo, no es la debida para conseguir una visión tridimensional correcta del modelo estereoscópico.

Desjardins, gran defensor de los estereoscopios de lentes, señala la gran desventaja de los estereoscopios de espejos y prismas por las pérdidas de luz que se originan en las sucesivas reflexiones y refracciones. No compartimos nosotros la misma opinión, especialmente si nos referimos, por ejemplo, al estereoscopio Ryker M-11, donde los rayos sufren reflexiones en dos espejos solamente antes de llegar a las lentes.

Aunque a todo se acostumbra uno y la práctica produce una gran pericia en el manejo de cualquier instrumento, hay que reconocer que la posición que debe adoptar el geólogo al mirar a través de los estereoscopios de lentes no es cómoda y el hecho de tener que ir levantando una de las fotografías del par, como sucede con la mayoría de ellos, lo es aún menos. Finalmente, el no poder lograr una visión simultánea de todo el modelo es también un serio inconveniente, ya que es muy aconsejable comenzar la interpretación con una idea de conjunto lo más amplia posible.

Un tipo característico de estereoscopio de espejos puede ser el modelo M-11-X-3 de la firma Ryker (fig. 11). Pueden ser fijados a una mesa o superficie plana, manteniendo la línea central del estereoscopio $7\frac{1}{2}$ " sobre las fotos y permitiendo la visión simultánea de todo el modelo formado por dos fotografías de $9" \times 9"$. El soporte alejado del operador permite una gran libertad de movimientos, tanto para manejar las fotografías como

para hacer anotaciones sobre ellas. Cuando se usan los binoculares de amplificación, que son geoméricamente semejantes a un microscopio de poca potencia y que giran alrededor de un eje para ser utilizados o no, a gusto del observador, se produce un aumento de cuatro veces en la imagen, y el campo queda reducido a uno de $2"$ de diámetro. La brillantez de la imagen disminuye de 10 a 40 veces, por lo cual es preciso usar mucha mejor iluminación, y las fotografías deben ser orientadas con gran cuidado para obtener visión estereoscópica, sin esfuerzo.

La misma Compañía construye otros modelos con cuatro patas, o con un trípode soportador, pudiéndose entonces cambiar la altura de las lentes sobre las fotografías, con lo cual varía la amplificación de 3,6 a 7. El modelo K-10 de Philip B. Kail Associates (Denver, Colorado) es el único, según sabemos, en esta clase de estereoscopios, que presenta la posibilidad de que dos personas con dos instrumentos vean a la vez el mismo par estereoscópico, lo cual tiene una gran importancia cuando se trata de discutir algún problema o con propósitos didácticos. El tipo de Gordon Enterprises presenta ajuste interpupilar, las lentes quedan a una altura constante de $8"$ por encima de las fotografías y lleva unos binoculares que producen un aumento de cuatro veces. Parecido a éste, la firma Fairchild tiene varios modelos. Wild (Heerburbrugg) fabrica un tipo con dos juegos binoculares para aumentos de tres veces y ocho veces, y las piezas de los binoculares se pueden ajustar para distancias interpupilares de 56 a 74 mm.

No queremos ocultar que para trabajos de laboratorio nos gusta mucho este tipo de estereoscopio de espejos, creyendo que presenta importantes ventajas sobre el de prismas, que es el único con el que es comparable, aunque la elección entre uno y otro es cuestión muy perso-

nal. Entre los datos que figuran en el cuadro de la figura 10, juzgamos interesante que su precio es bastante menor, que la imagen es realmente muy brillante y que las roturas son difíciles y las reparaciones fáciles debido a la sencillez de su construcción. El único inconveniente verdaderamente importante, que vemos, es la poca confortabilidad de la postura que tiene que adoptar el observador, sobre todo cuando usa los binoculares de aumento y suponemos que ello podría ser fácilmente corregible en futuros diseños, aunque, eso sí, sería muy conveniente que respetasen la horizontabilidad aparente del modelo.

El tipo más complicado de estereoscopio es el formado por un conjunto de prismas, espejos y lentes, y como característico mencionaremos el Old Delft de N. V. Optische Industrie «De Oude Delft» Delft-Holland (figura 12.) Sólo con este aparato no es necesario mover las fotografías cuando se quiere recorrer el modelo con el máximo aumento puesto, pues tiene dos mandos que desplazan la imagen según dos ejes perpendiculares, y esto es cómodo, así como también lo es, y mucho, la postura que debe adoptar el observador. Tiene un ajuste interpupilar entre 58 y 69 mm. y un aumento de 1,5 o de 4,5 veces. Las lentes llevan un recubrimiento para perder la menor cantidad posible de luz reflejada y en el interior lleva una cápsula reemplazable de cloruro de cobalto para evitar la humedad. La ventaja de que dos personas puedan contemplar a la vez con dos estereoscopios las mismas fotografías, es también importante. El hecho de que el modelo aparezca inclinado buizando hacia el observador 45° es especialmente molesto para determinadas personas, que no llegan nunca a acostumbrarse a él, y aunque conocen la existencia del fenómeno no pueden evitar su influencia en interpretaciones estructurales.

De todo lo expuesto hasta aquí, se deduce que estamos aún muy lejos de disponer del tipo ideal de estereoscopio, que son numerosos los factores que hay que computar y pesar antes de decidirse a la elección, que ésta no es fácil, y que depende mucho también de gustos personales.

Una distinción fundamental queremos señalar entre estereoscopios y anaglifos, que al mismo tiempo es gran desventaja para los primeros. En los estereoscopios se utiliza luz reflejada en los positivos, mientras que en los anaglifos la luz atraviesa los negativos o diapositivas de vidrio.

Anaglifos.

Son aparatos bastante más complicados y perfectos que los estereoscopios, y que utilizan el principio de proyección doble con colores complementarios para lograr la visión en relieve.

Cuando la cámara instalada en un avión tomó las dos fotografías que han de componer un par estereoscópico, y que por tanto tienen una gran parte común, la luz del sol, reflejándose en ese área común, formó dos haces de rayos semeando dos conos, cuya base común era la porción de terreno reflectante, y cuyos vértices eran, simplificando, los focos de lente de la cámara en sus dos posiciones respectivas. Con los anaglifos o aparatos de doble proyección se trata de repetir el proceso a la inversa, para lo cual, disponiendo de los conos de rayos se pretende crear el terreno, o al menos la ilusión óptica de su existencia, que es lo que nos interesa. De los negativos de las dos fotografías del par se hacen dos diapositivas sobre cristal, de modo que sean susceptibles de ser atra-

vesadas por la luz y que reflejen la menor cantidad de ella posible, y se introducen en dos proyectores, que emitiendo luces de colores complementarios harán pasar a través de las diapositivas haces de rayos. Los proyectores están en alto a izquierda y derecha del observador, y envían los rayos después de pasar por las fotografías sobre una superficie blanca horizontal. Una vez más se trata de imitar el proceso de la visión normal, consistente en que de cada punto de un objeto parten dos rayos luminosos que van a cada uno de los ojos, por tanto, para tener algo que ópticamente pueda ser considerado como objeto único, es preciso disponer los haces luminosos de manera que se corten, dos a dos, todas las parejas de rayos correspondientes a las dos imágenes del mismo punto del terreno, lo cual se hace, como veremos más tarde, orientando los proyectores. Finalmente, si nos colocamos un par de gafas, con cristales que sean filtros de colores complementarios, de forma que el ojo izquierdo sólo vea la imagen emitida por el proyector situado a la izquierda y el ojo derecho la emitida por el proyector a la derecha, tendremos visión tridimensional; nuevos haces de rayos, cuyas bases son respectivamente las imágenes emitidas por los proyectores sobre la mesa y cuyos vértices son nuestros ojos, se cortan en el espacio formando un nuevo «objeto óptico» parecido al verdadero, al que se trata de estudiar, pero no exactamente igual. Hay que tener en cuenta que aunque el ajuste óptico no sea perfecto y las condiciones geométricas de intersección de rayos necesarias para obtener visión de relieve según el Principio de Convergencia (ver capítulo anterior) no se realicen plenamente, la imaginación es capaz de suplir errores tanto mayores cuanto más práctica se tenga.

Hemos dicho que el modelo que contemplamos es pa-

recido, pero no exactamente igual al existente en la Naturaleza. En efecto, al principio resulta un poco alarmante para el geólogo, después de los primeros momentos de entusiasmo, el observar cómo se deforma el paisaje con pequeños movimientos de su cabeza, pero hay dos hechos que debemos tener en consideración para tranquilizarnos. Primero, que dichas deformaciones son deformaciones perspectivas, obedeciendo, por tanto, a las leyes de la geometría proyectiva y no demasiado grandes, no produciendo, por tanto, alteraciones esenciales en las estructuras; y segundo, que cuando se trata de situar un punto en el terreno para hacer una medida o para dibujar un contacto, estas deformaciones no cuentan. Explicaremos esta segunda idea. Tanto para dibujar el mapa geológico como para la verificación de medidas, nos valdremos de un pequeño aparatito, deslizante sobre la mesa de proyección, que consta de una plataforma circular blanca, susceptible de subir o bajar, con un punto luminoso en el centro y un contador para medir exactamente los desplazamientos verticales. Debajo exactamente del punto luminoso hay un lápiz que marca sobre el tablero. Ahora bien, si una vez orientados los proyectores para que sus haces de rayos se corten correctamente, formando en el espacio un modelo perfectamente semejante al existente en la realidad, y nosotros, con gafas puestas y visión tridimensional, subimos o bajamos la pequeña plataforma hasta que el punto luminoso dé la sensación de posarse en el terreno, es decir, ni se hunda ni flote en el aire, tomando ahora como plano de proyección la pequeña plataforma, habremos realizado un proceso del cual podemos deducir lo siguiente: Si en el modelo óptico que contemplamos compuesto por la intersección de haces cuyas bases son las proyecciones sobre la plataforma circular y cuyos vértices son nuestros ojos (modelo

óptico distinto al formado por la intersección de los haces directamente salidos de los proyectores), el punto luminoso no queda encima ni debajo, sino exactamente sobre él, quiere decirse que dicho punto luminoso está colocado en la intersección de dos rayos correspondientes procedentes de los proyectores, o sea, de dos rayos que pasan en las fotografías por las dos imágenes de un mismo punto. Continuando, pues, con la distinción entre el modelo óptico que nosotros vemos que es variable, según la posición de nuestros ojos, y no semejante, sino simplemente parecido al real, y el modelo óptico formado por la intersección de los haces emitidos por los proyectores que es inalterable y semejante al real, resulta que el punto de luz se encuentra también sobre este último modelo óptico y su posición es fija y correcta como dicho modelo, de manera que si hacemos marcar al lápiz situado debajo, obtenemos su proyección ortográfica sobre el plano que estamos dibujando, es decir, su posición planimétrica verdadera, y si con el contador medimos la diferencia de altura con otro punto, el valor conseguido es bueno.

Quando estos aparatos se utilizan adecuadamente, no existen los factores de error de que hablábamos en los estereoscopios como «exageración vertical», «desplazamiento radial», «tip», «tilt», etc., e incluso la distorsión introducida por defecto de la lente de la cámara es corregida por un procedimiento u otro.

Los colores complementarios que suelen utilizarse para los proyectores y para las gafas son el rojo y el verde azulado, y las gafas o no tienen patillas o son reversibles para que al pasar de un lado a otro de la mesa, con lo cual cambia la posición relativa de los proyectores respecto al observador, puedan ser a su vez cambiadas.



Fig. 12

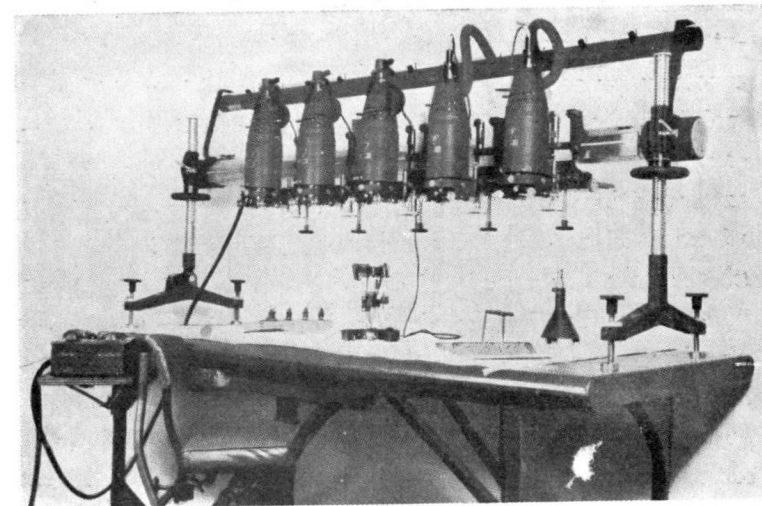


Fig. 13

Vamos a describir brevemente las principales características de los tres tipos de anaglifos más frecuentemente usados en el Servicio Geológico de los EE. UU., que son el Multiplex, el Kelsh plotter y el Balpex.

El Multiplex es el primero de todos y ha sido muy usado en todo el mundo, durante años pasados con fines fotogramétricos y geológicos (fig. 13). Actualmente su importancia ha disminuído mucho, principalmente, de-

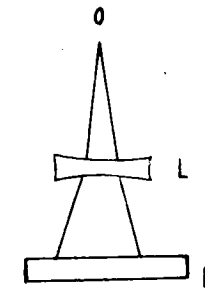


Fig. 14

bido al deficiente sistema de iluminación de sus proyectores, ya que sintetizando se trata de un foco situado en O (fig. 14), cuyos rayos pasan a través de una lente divergente L y llegan a la dispositiva P, perdiéndose bastante luz por dispersión. Para hacer, a partir de los negativos, las diapositivas en vidrio, se requiere un aparato auxiliar bastante costoso, en el cual, mediante una lente complementaria a la de la cámara fotográfica, se corrige la distorsión.

Importantes inconvenientes del Multiplex son también que del negativo de tamaño aproximado 9" x 9" se pasa a una dispositiva de 1 3/4" x 1 3/4", con lo cual el poder resolutivo disminuye considerablemente, y además que

el factor de aumento de la imagen proyectada es sólo de $2\frac{1}{2}$ veces.

El Kelsh plotter (fig. 15) posee la gran ventaja de ofrecer la imagen más clara de todos los aparatos de proyección doble, y el gran inconveniente de que no es posible ver todo el modelo a la vez. Los proyectores están de tal modo ligados a la pequeña plataforma circular, que antes mencionábamos, que sus rayos convergen hacia ella acompañándola en todos sus movimientos y no iluminando el resto de la mesa. Como en los proyectores se utilizan diapositivas de las mismas dimensiones que el negativo, se ahorra el aparato complementario «printer» para realizar dichas diapositivas, y al no reducir nunca la imagen, se conserva íntegro el poder de resolución, siendo ambos hechos muy dignos de tener en cuenta. La distorsión se corrige mediante un dispositivo denominado «cam», incluido en el instrumento, el cual, en un nuevo modelo, es susceptible de quedar inoperante cuando se trabaja con fotografías desprovistas de distorsión. El factor de aumento de la imagen al proyectar es muy bueno, llegando a 5. Los proyectores tienen una distancia principal que pueden ajustarse para emplear fotografías, cuyas distancia focal varía de 150 a 165 mm. La casa fabricante es The Kelsh Instrument Co., Inc. (Baltimore).

El Balplex de Bauch & Lomb Optical Co., Rochester 2, N. Y., es el más moderno de estos instrumentos (figura 16), constituyendo sus proyectores ER-55 una novedad; en líneas generales consisten (fig. 17) en un espejo elipsoidal de modo que los rayos que vienen del foco F_1 son concentrados en el otro foco F_2 y a continuación pasan a través de la dispositiva P. Todo ello va encerrado en un caja metálica y, aunque hay un ventilador, el calor produce a veces daños en las dispositivas. Este sistema de iluminación, en el cual los proyectores no convergen

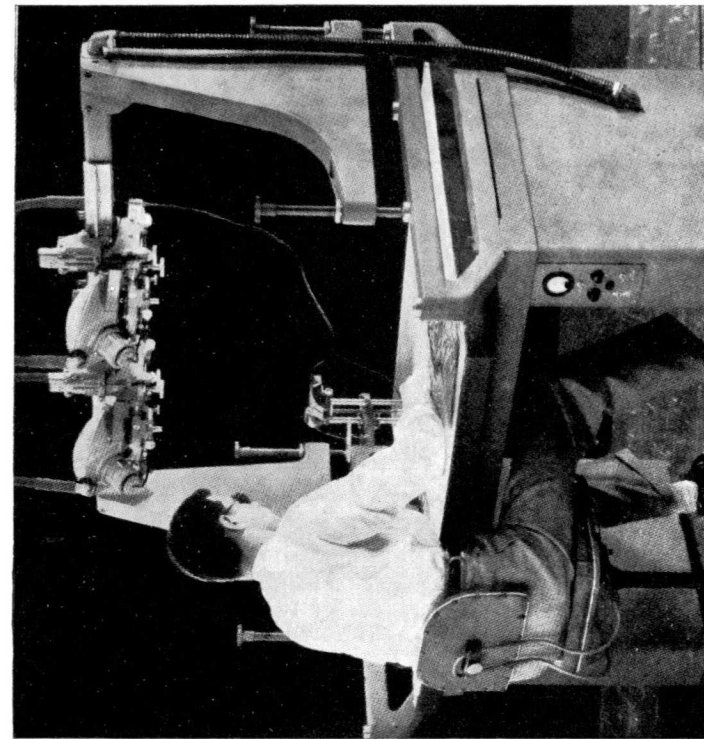


Fig. 16

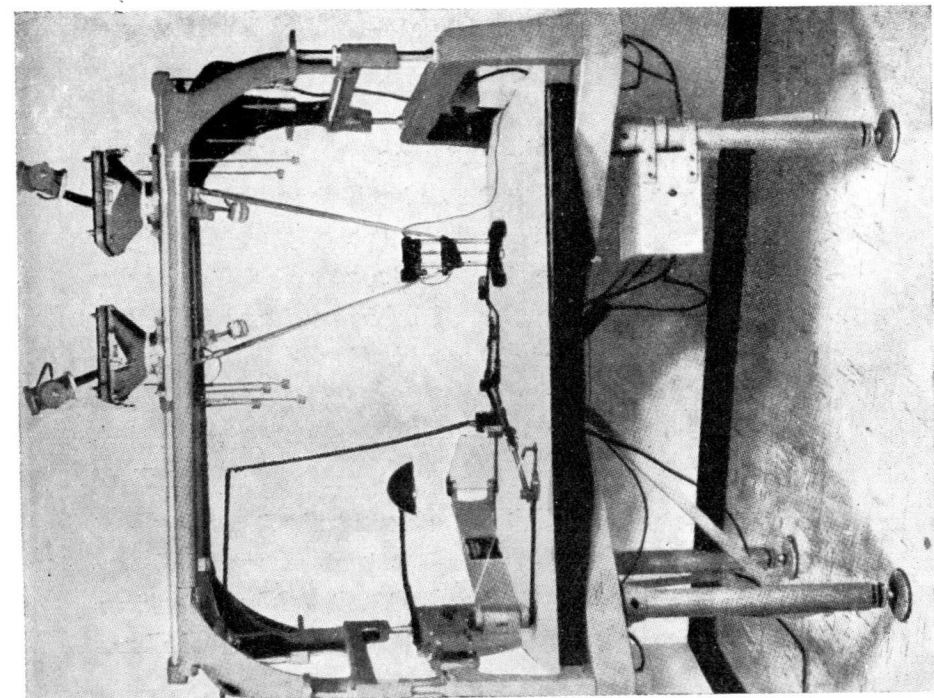


Fig. 15



hacia la plataforma acompañándola en sus movimientos, da lugar a una imagen bastante clara, aunque no tanto como en el Kelsh, y tiene la ventaja de poderse ver simultáneamente todo el modelo como en el Multiplex. Con el Balplex también se necesita «printer» **para hacer** dispositivos de 4" x 4" corregidas de **distorsión**. El factor de aumento en la proyección es **3.4**. En la figura 16 podemos ver también **apoyada** en el tablero, la pequeña

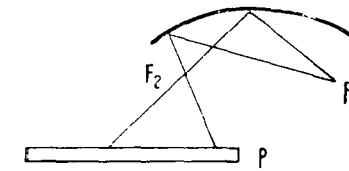


Fig. 17

plataforma circular a que nos referimos anteriormente. En la parte superior se halla el contador que mide los desplazamientos verticales de la plataforma, y abajo en el centro de la base, que tiene forma de herradura, está el lápiz que se puede tener bien en posición de marcar o bien levantado, según se desee, cuando la plataforma se mueve recorriendo el modelo. En la base existen un par de botones, conectados por cables a los proyectores, apretando los cuales se aumenta la intensidad luminosa de la proyección en rojo o en verde.

El Balplex derrota al Multiplex en todas sus características y sólo debe admitir comparación lógica con el Kelsh, donde preferencias de tipo personal serán las que decidan.

Orientación.

Para que con los haces luminosos que proceden de los proyectores consigamos un modelo óptico semejante al real, es necesario también que la posición de las diapositivas en los proyectores, la de los proyectores, y la de la mesa de proyección, sean semejantes a las posiciones que tenían las placas y las cámaras cuando se hicieron las fotografías. Esto se logra mediante tres operaciones sucesivas llamadas Orientación Interior, Orientación Relativa y Orientación Absoluta.

La Orientación Interior es la colocación adecuada de la diapositiva dentro del proyector, y de ella no vamos a decir nada, ya que no presenta problemas teóricos.

Orientación Relativa es la colocación correcta de un proyector respecto al otro semejante a las posiciones que la cámara fotográfica adoptó en el espacio al tomar las fotografías.

Vamos a explicar la orientación relativa para el Multiplex o el Balplex, ya que para el Kelsh es algo distinta, pues sus proyectos no tienen los mismos movimientos. Los proyectores del Balplex están dotados de movimientos independientes a lo largo de tres ejes perpendiculares: uno vertical (eje Z), otro paralelo a la dimensión mayor de la mesa (eje X) y otro paralelo a la dimensión menor (eje Y); también poseen rotación alrededor de cada uno de estos tres ejes, de modo que cada proyector está provisto de seis tornillos para cada uno de sus seis movimientos. Supongamos que el modelo estereoscópico aparece sobre la mesa frente al observador como indica la figura 18, siendo 3, 4, 5 y 6 puntos situados aproximadamente en las esquinas del modelo y siendo las líneas

1-2 y 3-5 paralelas respectivamente a los ejes mayor y menor de la mesa y, por tanto, a los ejes X e Y.

No olvidemos que vamos buscando que los haces de rayos emitidos por los proyectores se corten formando un modelo óptico, de manera que se logre la intersección de cada par de rayos que pasan por imágenes del mismo punto. Así, pues, si resulta que al recorrer el modelo con la plataforma circular, las dos imágenes de ambos proyectores sólo están desplazadas en cualquier lugar, según una componente X, la orientación relativa está lograda, porque basta subir o bajar la plataforma o acercar o alejar los proyectores según el eje X, para conseguir la intersección de rayos; pero si en ese desplazamiento de imágenes hay también componente Y, entonces los rayos se cruzan y por más que subamos o bajemos la plataforma de proyección, no alcanzaremos sus puntos de corte. Tenemos, por tanto, que corregir el desplazamiento de las imágenes en su componente Y, sin preocuparnos de la componente X.

Cuando el desplazamiento existente entre las imágenes roja y verde es grande, es inútil que nos pongamos gafas, pues no lograremos visión en relieve, y entonces es mejor tratar de aproximar las dos imágenes a vista desnuda, y una vez que están suficientemente cerca nos ponemos las gafas y trataremos de eliminar la componente Y del desplazamiento o «paralaje», haciendo uso de la plataforma circular con su punto luminoso central. «En un lugar no deja de haber paralaje hasta que se consigue que el punto luminoso se pose sobre el terreno visto en relieve, y que cuando se suba o baje la plataforma lo suficiente para que la vista no pueda fusionar imágenes y se pierda la visión estereoscópica, las dos imágenes que aparezcan del punto luminoso estén sobre una recta paralela al eje X».

El procedimiento que se sigue para eliminar el paralaje o «clarificar la imagen» es un procedimiento de aproximación que debe repetirse para lograr buenos resultados, y consiste en eliminar el paralaje en cinco puntos alejados entre sí, teniendo cuidado con que cada movimiento estropee lo menos posible los resultados conseguidos en los anteriores. Hay muchas marchas a seguir; vamos a describir solamente una, mediante la cual (fi-

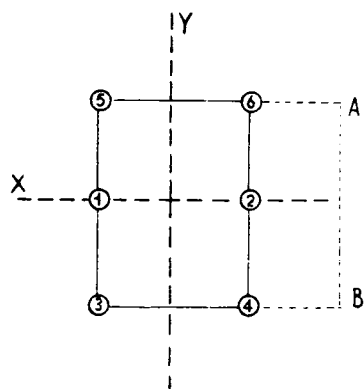


Fig. 18

gura 18) sólo moveremos el proyector situado a la derecha:

1.º Eliminamos el paralaje en el punto 2, moviendo el proyector a lo largo del eje Y. Con ello introducimos paralaje en todos los demás puntos, pero como no habíamos hecho ningún ajuste anterior, no importa.

2.º Eliminamos paralaje en 1, girando el proyector alrededor del eje Z. Téngase en cuenta que como la imagen total emitida por este proyector es 5, A, B, 3, el punto 2 constituye su centro y, por tanto este movimiento apenas introduce paralaje en dicho punto 2, ya ajustado.

3.º Eliminamos paralaje en 4, desplazando el proyector a lo largo del eje Z, con lo cual no introducimos paralaje en 1 ni en 2.

4.º Eliminamos paralaje en 3, girando el proyector alrededor del eje Y. No introducimos paralaje en 1 ni en 2 y muy poco en 4.

5.º Corregimos con exceso, aproximadamente $1\frac{1}{2}$, veces el paralaje en 6, girando el proyector alrededor del eje X, y a continuación volvemos a iniciar el procedimiento entero hasta quedar satisfechos de los resultados.

Un observador con experiencia puede llevar a cabo esta operación en poco tiempo y lograr un paralaje en todo el modelo menor de 0,1 mm.

Finalmente, queda por hacer la Orientación Absoluta, que es la colocación correcta de la mesa de proyección con respecto a los proyectores, de forma semejante a la que tuviera un plano horizontal en la Naturaleza, respecto a las dos posiciones de la cámara. Esta orientación requiere normalmente la identificación en un mapa de tres puntos del modelo y el conocimiento de sus alturas respectivas; si ello no es posible, podemos nivelar el modelo guiándonos por un lago o por una formación que sepamos horizontal, pues no hay que olvidar, tanto en esta operación como en todas las anteriores descritas, que nuestros fines son geológicos y que para ellos la extremada precisión del mapa no suele ser un factor de gran importancia. No necesitamos ni debemos hacer mapas tan precisos como aquellos otros con distintos propósitos de los geológicos.

La Orientación Absoluta se realiza en el Balplex con cuatro grandes tornillos adosados a la mesa, y en el Kelsh con tres.

Para más detalles sobre el fundamento teórico de estos instrumentos y su manejo, puede consultarse el Manual de Fotogrametría de la «American Society of Photogrammetry».

Estos aparatos de proyección doble no son imprescindibles para hacer estudios fotogeológicos, pero en ocasiones casi rayan en ello, y su gran utilidad es siempre admirable, proporcionando a la investigación una rapidez y unas probabilidades de acierto sorprendentes. Imáginese lo que significa un Balplex trabajando con diapositivas a escala 1/60.000 y produciendo un magnífico paisaje de toda la parte común, que es bastante extensa, a escala 1/17.000. Adosando a la plataforma circular un lápiz horizontal podemos dibujar directa y rapidísimamente cortes geológicos con errores de un par de metros, y la construcción de un mapa de líneas isopachas, midiendo en muy poco tiempo multitud de espesores, es cosa bien sencilla.

Uno de los mayores éxitos de la Sección de Fotogeología del U. S. G. S. en los últimos años, fué la prospección de los depósitos de uranio de Wyoming. Se trataba de una estructura monoclinial, presentándose el mineral a lo largo de fallas paralelas a la estratificación, cuyo desplazamiento en profundidad era de unos 100 pies, pero que en superficie quedaban patentes únicamente por un pequeño salto de poca altura que no aparecía en los mapas topográficos. Usando un Kelsh se pudo hacer en poco tiempo una serie de numerosísimos cortes en los que se detectaban claramente dichos saltos.

La adquisición, pues, de estos instrumentos es un problema económico, ya que su utilidad no ofrece dudas y en un servicio geológico importante donde su amortización pueda ser rápida, donde haya bastante gente capaz

de manejarlos correctamente, y donde la existencia de varios constituya una gran ventaja en materia de averías, repuestos y dificultades en general, dicha adquisición es a todas luces aconsejable.

En los anaglifos se pueden montar varios proyectores en serie, y orientándolos debidamente, ampliar de un modo considerable la investigación. Esta operación se denomina en inglés «bridging».

ADOLFO ERASO

CONSIDERACIONES MORFOGENÉTICAS SOBRE LA CUEVA DE LAZALDAY (ALAVA)

RESUMEN

En este artículo, estudia el autor algunas formaciones observadas en la cueva de Lazalday, que dan la clave de su génesis. Se puede observar, que se trata de un antiguo sistema termocirculante, que deja de existir por una obstrucción clástica, y que a su vez condiciona un régimen lacustre esporádico, en el que encontramos aún drusas de aragonito y cristales más o menos perfectos (según los lugares) de yeso.

El método utilizado es una combinación de análisis morfológicos y químicos, que apoyados mutuamente dan a las conclusiones una mayor garantía. Así se ha llegado a calcular la presión parcial del anhídrido carbónico por un método indirecto, el cual es considerado por el autor de gran utilidad para análisis ulteriores.

RÉSUMÉ

Dans cet article l'auteur étudie quelques formations observées dans la caverne de Lazalday, qui donnent la clé de sa genèse. On peut observer, qu'il s'agit d'un ancien système termocirculant, qui finit d'exister par une obstruction déterminamment clastique, et qui en retour conditionne un sporadique régime lacustre, dont nous trouvons encore des druses d'aragonite et des cristaux plus ou moins parfaits (selon des lieux) de gypse.

Le méthode utilisée est mêlée, basée sur des analyses morphologiques et chimiques, qui apuys mutuellement donnent aux conclusions une plus grande garantie. Ainsi on est arrivé a calculer la pression partielle de l'anhydrite carbonique par una méthode indirecte, ce que l'auteur considère de grande utilité pour des analyses ultérieurs.

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel studiert der Verfasser einige Formationen, die in der Lazalday-Höhle beobachtet wurden, und die der Aufschluss über die Höhlenentwicklung geben, wenn man bedunkt, dass es sich um ein ura'tes

termisches Umlaufsystem handelt, dass durch eine klastischen Verstopfung zu existieren aufhörte die innerseits ein spordisches lakusinisches Verhalten verursachte und von dem noch Aragonitdrusen und mehr oder wenig perfekt Gipskristalle übrigbleiben (lokal).

Das angewandte Verfahren ist gemischt, und zwar in Form von morphologischen und chemischen Analysen, die zusammengenommen eine bessere Garantie für die gezogenen Schlüsse gewährleisten. So hat man den Teilruck der Kohlendioxyd durch ein indirektes Verfahren errechnet, was der Werfaser für späteren Analysen als sehr nützlich ansieht.

SUMMARY

In this article the author has made a survey about some formations noticed in the cavity of Lazalday which gives the about the genesis of the same. He has noticed that it is an old thermocirculating system which on its turn conditioned a sporadic lacustrine regime. From the latter we have druses of aragonite and crystals of plaster more or less accurate (depending on paces).

The method used here is a combination of morphologic and chemical analysis, which mutually help give a greater guarantee to the conclusions. By this way we have succeeded in getting the partial pressure of carbon anhidride by means of an indirect method. This data has been considered by the author of great use for further analyses.

I. INTRODUCCIÓN

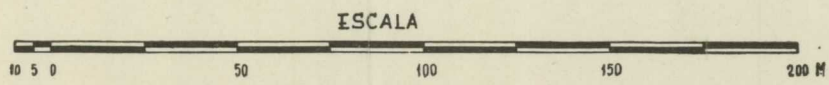
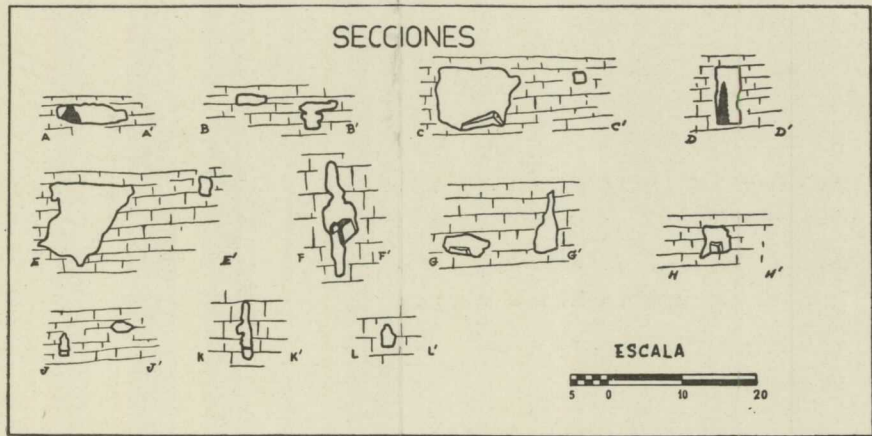
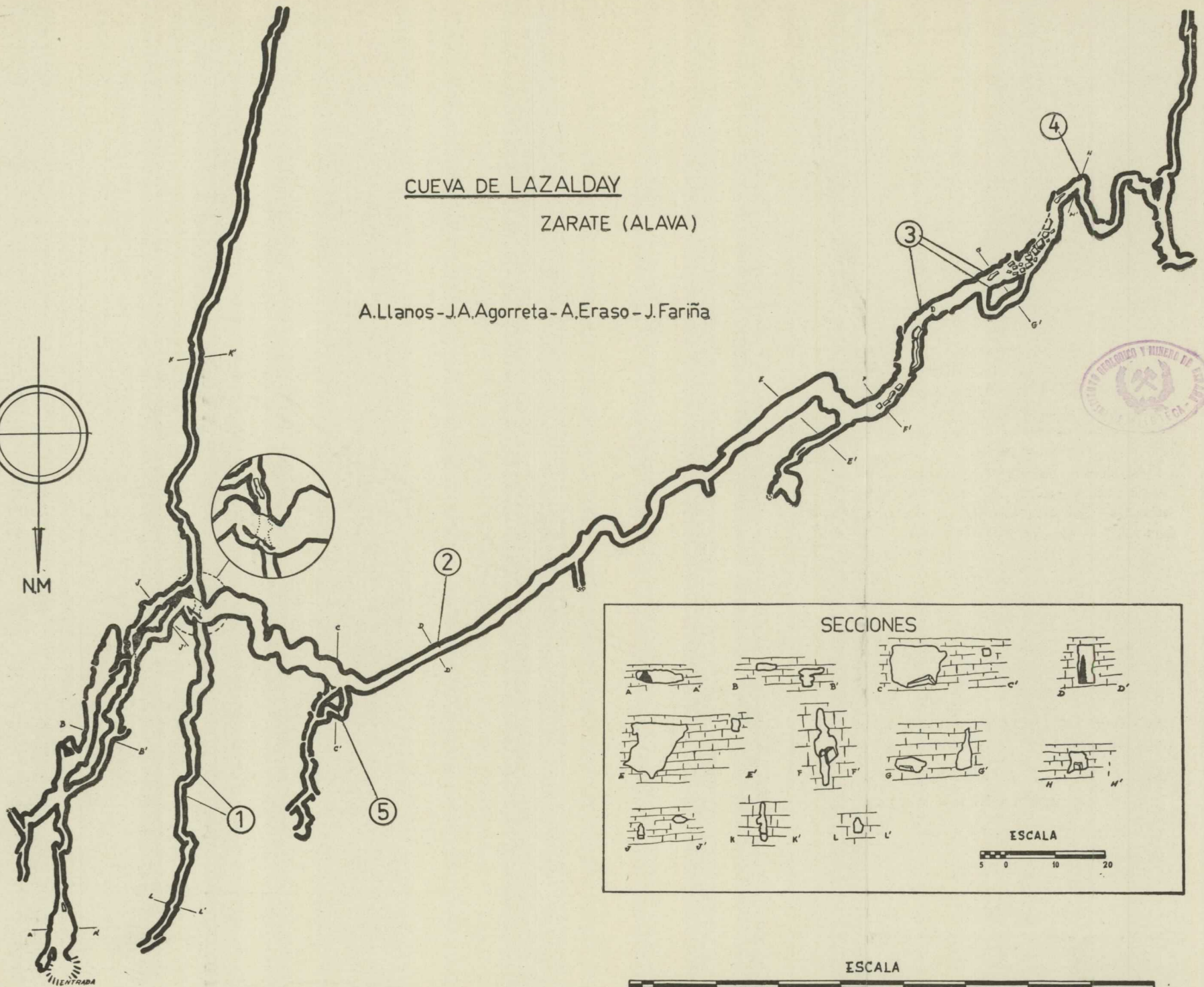
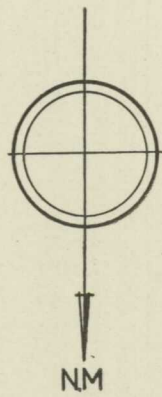
En los comienzos del año 1960, realizando el estudio general de la cueva de Lazalday, con Armando Llanos, Jaime Fariña y José Antonio Agorreta, en nuestro lento caminar hacia el conocimiento espeleológico de Alava, observamos algunas formaciones de tal peculiaridad, que les dedique atención especial, sin sospechar todavía su importancia real.

Más adelante, al tratar de interpretar coherentemente la genética de Lazalday, surgían algunos tropiezos que fueron resueltos por consideraciones sobre las citadas formaciones.

CUEVA DE LAZALDAY

ZARATE (ALAVA)

A.Llanos - J.A.Agorreta - A.Eraso - J.Fariña



Esta circunstancia me indujo a dedicarlas exclusiva atención, siendo las breves líneas a continuación expuestas el resultado del estudio.

II. FORMAS OBSERVADAS Y DEDUCCIONES

Manto de turba

Punto núm. 1.

En un cauce intermitente, sensiblemente paralelo al curso hídrico principal de Lazalday, aguas arriba del punto de confluencia de ambos (9), existe en la izquierda un manto que mimetiza perfectamente una colada estalagmítica parietal, con la que a no dudarlo se la confundiría de no destacar su intenso color oscuro.

Al realizar la toma de muestras se observa que, el color real del depósito es negro, y el espesor de 8 a 10 cm.

En el ambiente menos húmedo del laboratorio, la muestra al cabo de unos días presenta marcada deshidratación, puesta de manifiesto por el cuarteamiento debido a la pérdida de volumen ocurrida.

Los ensayos demuestran que se trata de un sedimento caustobiolítico según la clasificación de Potonie, presentando la compacidad de la turba y el color de un lignito (12).

Su origen es indudablemente orgánico, existiendo grandes posibilidades de formación en el manto húmico existente bajo las hojas acumuladas en el suelo exterior, o mejor en las dolinas. Las condiciones grandemente anaerobias hacen que la materia orgánica así depositada se humifique.

Ciertamente en el exterior hay un denso bosque de

robles y hayas, y gran número de dolinas con notable acumulación de hojas en su fondo.

Pero ¿cómo ocurrió el transporte a la profundidad de los citados sedimentos carbonosos?

Si suponemos que la humificación ha ocurrido en el fondo de una dolina, las aguas allí recolectadas pudieron arrastrar, al percolarse hacia profundidad, a la citada formación húmica.

Esta circunstancia es perfectamente factible, puesto que el humus constituye un sistema coloidal complejo (12), prácticamente insoluble en el agua, pero con la que puede formar soluciones coloidales que hagan factible su arrastre hacia la profundidad.

Considerando además que el humus tiene carácter de anión (posee carga negativa), se comprenderá mejor el que pueda adsorber cationes positivos, formando así humatos de diferentes solubilidades, de tal modo que su arrastre vendrá favorecido a tenor de la mayor solubilidad del humato formado.

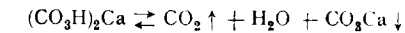
Conjunciones litogénicas

Punto núm. 2.

Situado en la galería principal, en el tramo que actualmente hace las veces de divisoria de aguas respecto a las pequeñas circulaciones hídricas intermitentes existentes (9); presenta gran interés, ya que las deducciones con respecto a la evolución genética de Lazalday que se pueden extraer de las conjunciones litológicas aquí observadas, son de primer orden como veremos.

Llama la atención en el citado punto, una gran estalagmita de caudal (11) (forma de palmera), cuya génesis

es sólo posible para pequeños valores de la presión parcial del anhídrido carbónico en la atmósfera reinante, como v. gr.: cavidades con circulación de aire del tipo que sea, pero que impida el acopio de CO_2 , favoreciendo el desplazamiento hacia la derecha del siguiente equilibrio (Lê Chatelier).



La citada estalagmita hizo pensar en la posibilidad de existencia de una nueva boca de la cavidad, a tenor de las condiciones genéticas requeridas para su formación.

La búsqueda resultó infructuosa.

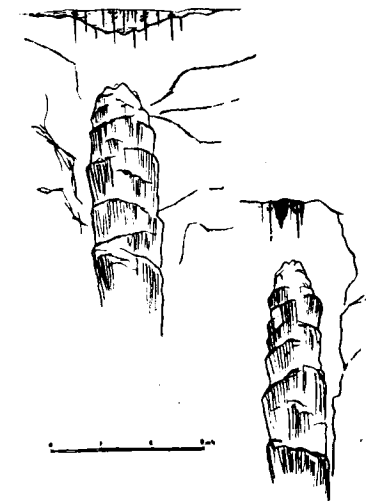


Fig. 1.

La incoherencia entre causa y efecto movió a una investigación seria, encaminada a arrojar luz sobre el asunto.

Los resultados no se hicieron esperar:

Sobre la cúspide de la estalagmita de caudal se descubrieron tres estalagmitas climáticas (11), todavía de

pequeño desarrollo, por lo que no eran visibles desde el piso.

A este nuevo tipo de estalagmitas superpuestas a la de caudal, corresponde por el contrario una atmósfera con mayor contenido en anhídrido carbónico que la anterior, estando notablemente dificultada la cesión de CO_2 y correspondiente depósito de CO_3Ca en el equilibrio fundamental (3), (5), (6) y (7).

Adoptando la notación de Montoriol, las condiciones de caudal y climáticas para ambas formas son las siguientes:

Estalagmita de caudal + CA - CL
 » climáticas - CA + CL
 + CA = gran degoteo en la litogénesis
 - CA = pequeño degoteo en la litogénesis

siendo

- CL < > pequeña presión parcial del CO_2
 + CL < > mayor presión parcial del CO_2 .

Mas si se tiene en cuenta que las estalagmitas climáticas son posteriores a la de caudal, destacan las siguientes evoluciones en el tiempo:

1.^a + CA → - CA

y

2.^a - CL → + CL.

Lo que equivale respectivamente a:

1) Disminución en el caudal hídrico responsable de la litogénesis observada.

2) Aumento de la presión parcial de CO_2 en la atmósfera hipogea.

Mediante una escalada hasta el techo de la cavidad, para observar la correspondencia estalagmítica a las estalagmitas estudiadas, se observaron las siguientes formas, que por su diferente grado de decalcificación se pueden ordenar de mayor a menor antigüedad, así:

a) Estalactitas mixtas - CA - CL
 b) Helictitas _____
 c) Estalactitas de caudal (macarrones) . . . - CA + CL

Lo que supone la siguiente evolución en el tiempo:

- CL → + CL

es decir, aumento de la presión parcial del anhídrido carbónico, conclusión a la que antes se llegó.

Teniendo en cuenta que el paso de estalagmita de caudal a climática es brusco, y que el desarrollo de la forma de palmera es grande, podemos considerar en atención a las presiones parciales de CO_2 requeridas para cada forma, que:

a) La cavidad de Lazalday funcionaba como un sistema termocirculante (dos bocas), que evitaba la acumulación de CO_2 en la caverna (vida de la estalagmita de caudal) (1), (2), (3), (5).

b) Posteriormente, mediante obstrucción de una de las bocas, comenzó a aumentar el contenido de CO_2 , ya que no existía causa alguna que lo impidiese. Con estas nuevas condiciones comienza la vida de las estalagmitas climáticas (1), (2), (3), (5), (10), (14).

* * *

El otro tipo de evolución observada:

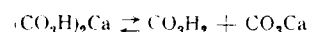
+ CA → - CA

es decir, disminución del aporte hídrico responsable de la litogénesis, tiene solamente validez local, pudiendo indicar todo lo más una evolución de relieve epígeo sin mayor especificismo. No insistiré sobre ello.

* * *

Con miras ulteriores, realicé unos análisis cuantitativos destinados a dar una mayor amplitud a las conclusiones típicamente cualitativas explicadas (1), (2), (6), (7), (14).

Los citados análisis se realizaron en un pequeño «gours» junto a la base de la estalagmita en palmera. Se comprobó la total ausencia de descalcificaciones en el citado «gours», lo que garantizaba la total ausencia de ácido carbónico libre agresivo, existiendo tan sólo ácido carbónico libre, equilibrante en correspondencia biunívoca con el contenido en bicarbonatos del agua, según el equilibrio:



supuestas constantes las condiciones termodinámicas que lo rigen, cosa bastante lógica, ya que cuando se logra el acúmulo de CO_2 en una cavidad, ésta tiende o está ya como un sistema térmicamente aislado.

Valorando volumétricamente el CO_3H_2 y los bicarbonatos ($\text{CO}_3\text{H}'$), el factor de error es mucho menor, existiendo la citada correlación de valores entre ambas variables (1), (2), (5), (6), (7).

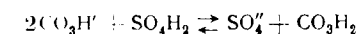
Los valores encontrados son:

$$[\text{CO}_3\text{H}'] = 10,38 \text{ mgr./l.}$$

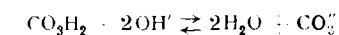
$$[\text{CO}_3\text{H}_2] = 1,19$$

Los bicarbonatos se valoraron con SO_4H_2 0'1N, utilizando como indicador solución al 1 por 100 de metilorange.

El equilibrio es el siguiente:



y el correspondiente al ácido carbónico (con OHNa 0.01 N)



utilizando como indicador la phenolphtaleína.

Entonces, el pH del tampón es el siguiente:

$$\text{pH} = 6,4 + \log \frac{[\text{CO}_3\text{H}']}{[\text{CO}_3\text{H}_2]} = 7,38$$

y la cantidad de carbonato cálcico disuelto:

$$[\text{CO}_3\text{Ca}] = 168 \text{ mgr./l.}$$

* * *

Otras medidas efectuadas en el punto de análisis son (1), (2), (3), (5), (6), (7), (14):

$$\begin{aligned} \text{PT} &= 713,9 \text{ mmHg} \\ \text{T}_{\text{H}_2\text{O}} &= 9,8^\circ \text{ C} \\ \text{TS} &= 9,9^\circ \text{ C} \\ \text{Tw} &= 9,75^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

siendo:

$$\begin{aligned} \text{PT} &= \text{presión total} \\ \text{T}_{\text{H}_2\text{O}} &= \text{temperatura del agua} \\ \text{TS} &= \text{temperatura seca o ambiente} \\ \text{Tw} &= \text{temperatura húmeda o de saturación adiabática.} \end{aligned}$$

de lo que se deducen, mediante cálculos inherentes a fenómenos de humidificación y desecación, los siguientes (Mollier):

$$P_s = 9,059 \text{ mm. Hg.}$$

$$P_v = 8,984 \quad \gg$$

$$100 \varphi = \frac{P_v}{P_s} = 99,17 \%$$

Siendo

P_s = presión de saturación del vapor de agua a la temperatura húmeda.

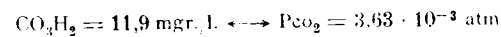
P_v = presión parcial del vapor de agua deducida de:

$$P_v = P_s - 0,5 (T_s - T_w).$$

100φ = humedad porcentual del ambiente.

* * *

Si tenemos en cuenta que el «gours» de los análisis está suficiente tiempo en contacto con el aire de la cavidad como para que haya lugar a la existencia de equilibrio en el reparto de CO_2 entre el aire y el agua (Nerts, Henry), es evidente que conocido uno de los valores el otro nos viene dado automáticamente.



P_{CO_2} = presión parcial del CO_2 .

Pero verificando la corrección de presiones:

$$f = \frac{713,9}{760,0}$$

queda

$$P_{\text{CO}_2}: f = 3,41 \cdot 10^{-3} \text{ atm.}$$

* * *

De la ley de Dalton para ulteriores cálculos podemos deducir las presiones parciales de los componentes de la atmósfera hipogea, anteriormente considerada:

$$P_T = P_a + P_v + P_{\text{CO}_2}$$

P_a = presión parcial del aire seco y sin CO_2

P_v = presión parcial del vapor de agua

P_{CO_2} = presión parcial del anhídrido carbónico

valores que para una mayor coherencia, vemos en el siguiente cuadro

	Mm. de Hg	Atmósferas
P_a	702,3	$9,25 \cdot 10^{-1}$
P_v	8,984	$12,58 \cdot 10^{-3}$
P_{CO_2}	2,600	$3,41 \cdot 10^{-3}$
P_t	713,9	$9,41 \cdot 10^{-1}$

datos que nos sirven de base para las transformaciones termodinámicas ocurribles posiblemente adiabáticas en atención a la obturación deducida.

* * *

Otras medidas efectuadas son las valoraciones cuantitativas de calcio y magnesio con Complexona, utilizando como indicadores Murexida (para el Ca^{++}) y Eriocromo negro T (para Ca^{++} y Mg^{++}), y los reconocimientos cualitativos de otros iones cuyos resultados expresado a continuación:

Ca^{++}	= 68,0 mg./l
Mg^{++}	= 7,3 »
Fe^{+++}	= ausencia
K^{+}	= »
Cl^{-}	= trazas
$\text{SO}_4^{''}$	= existe

* * *

Con respecto a las consideraciones anteriores, merece señalar el gran hundimiento clástico al final de la galería principal, que condicionó un régimen lacustre con depósito de sedimentos alóctonos finos, cuyo conjunto es sin duda responsable de la obstrucción deducida. La comprobación topográfica con el exterior apoya este aserto.

Drusas de aragonito

Punto núm. 3.

Su emplazamiento radica precisamente en el final de la galería principal, en el lugar del hundimiento clástico (9), donde se ubicó el lago del que hoy queda como muestra desde su superficie hacia el fondo, actual piso, multitud de agujas, agrupadas en drusas, de CO_3Ca al parecer de aragonito revestidos en algunos lugares de una costra blanca de aspecto sacaroideo o de cristales bien cristalizados, cuyo análisis ha demostrado tratarse de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Destaca extraordinariamente el hecho de que el yeso

siempre yace sobre el aragonito, siendo ambos por disposición de sus depósitos, de indudable origen lacustre.

Imaginemos lo ocurrido:

En el agua existente se hallarían solvatados los siguientes iones, cuando menos en perfecto acuerdo en el pH normal de un agua kárstica

$\text{CO}_3\text{H}'$
 SO_4''
 $\text{Ca}^{..}$
 OH'
 H^{+}

Capaces de precipitar o cristalizar cuando se sobrepasase el producto de solubilidad de las siguientes asociaciones iónicas (moléculas)

$\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso)
 $(\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca}$ (bicarbonato cálcico)

a los que corresponde los siguientes valores para su respectivo producto de solubilidad Ps:

$$\text{Ps} (\text{SO}_4\text{Ca}) = 10^{-4,2} \text{ moles/litro}$$

$$\text{Ps} (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca} = 10^{+0,8} \text{ moles litro}$$

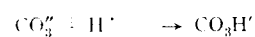
Es decir, que el bicarbonato cálcico es bastante más soluble que el sulfato, por lo que éste último se depositaría mucho antes al ocurrir v. gr.: una evaporación y subsiguiente concentración iónica.

Pero, ¡un momento! Hemos dicho antes que las drusas cristalinas están formadas de carbonato cálcico, no de bicarbonato. ¿Cuál es, pues, el producto de solubilidad de esta sal?:

$$\text{Ps} (\text{CO}_3\text{Ca}) = 10^{-8,3} \text{ moles/litro}$$

¡Claro! mucho más insoluble que el sulfato cálcico y por consiguiente se depositaría mucho antes, yaciendo de este modo bajo el yeso.

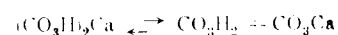
Mas ¡atención!, existe una seria objeción, y es que los valores del pH de las aguas kársticas (pH < 8,0) no permiten en su seno la existencia de aniones carbonato (CO₃^{''}), por existir los suficientes protones en solución para la ocurrencia del siguiente equilibrio (5):



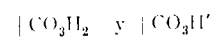
siendo estables solamente su solución, por tanto, los iones CO₃H'.

¿Cómo explicar las características del depósito observado en este punto?

Vayamos enseguida al equilibrio fundamental kárstico:



el pH de estas soluciones viene definido por la concentración de los siguientes componentes:

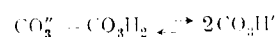


según la fórmula.

$$\text{pH} = 6,4 + \log \frac{[\text{CO}_3\text{H}']}{[\text{CO}_3\text{H}_2]}$$

su valor nunca rebasa 8,3, pues para entonces ya no existiría CO₃H₂ en solución, y raramente es inferior a 5.

El CaCO₃ del equilibrio fundamental *no puede estar disociado*, ya que con el ácido carbónico daría bicarbonato.



y su concentración depende directamente del contenido de (CO₃H)₂Ca y del CO₃H₂ libre equilibrante.

A tenor de estos valores, las solubilidades extremas del Ca CO₃ en un agua kárstica son aproximadamente:

$$14 \text{ mgr./l.} < \text{CaCO}_3 < 425 \text{ mgr./l.}$$

Es decir, que en el caso más favorable, la concentración de carbonato cálcico no llega a *medio gramo por litro*, mientras que el sulfato (yeso) posee una solubilidad mayor de 2,2 gr/l. Entonces por una concentración, v. gr.: ya se ve claramente que el carbonato se depositará antes que el sulfato.

* * *

Como desconocemos los contenidos iónicos de las aguas del lago, responsables de las citadas formaciones cristalinas, vamos a calcular, a modo de ejemplo, lo que ocurriría en una solución de agua pura, que sólo contenga SO₄^{''}, CO₃^{''} y Ca⁺⁺.

Haremos abstracción, para simplificar, del efecto de ión común

$$\text{Ps (CO}_3\text{Ca)} = 10^{-8,3} \text{ moles/l.}$$

$$\text{Ps (SO}_4\text{Ca)} = 10^{-4,2} \text{ moles/l.}$$

Mediante una concentración, es evidente que se depositará antes Ca CO₃ que Ca SO₄, pero ¿en qué proporción?

Simplemente en la de la razón de su producto de solubilidad:

$$\frac{\text{Ps (CO}_3\text{Ca)}}{\text{Ps (CaSO}_4\text{)}} = \frac{10^{-8,3}}{10^{-4,2}} = \frac{1}{10^{4,1}} = \frac{12.600}{1} \text{ mol/l.}$$

es decir, que para cuando hayan precipitado 12.600 moles de CaCO_3 , justamente un solo mol de CaSO_4 lo habrá hecho, lo que prácticamente se puede interpretar como si el fenómeno respondiese a una cierta «estratificación» de depósitos, ya que a partes iniciales prácticamente iguales de ambos componentes, la realidad indica que apenas queda CaCO_3 en solución, al comenzar a depositarse masivamente el CaSO_4 . La separación de depósitos es pues un hecho.

Veamos a qué unidades físicas equivale la relación molar.

$$\frac{12.600 (\text{CO}_3\text{Ca})}{1 (\text{SO}_4\text{Ca})}$$

$$\begin{array}{l} \text{Pm } \text{CO}_3\text{Ca} = 100 \\ \text{Pm } \text{CaSO}_4 = 136 \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} / \\ \backslash \end{array} \right\} \text{Pm} = \text{peso molecular}$$

queda entonces:

$$\frac{12.600}{1} \cdot \frac{100}{136} = \frac{9.280 \text{ grs de } \text{CaCO}_3}{1 \text{ grs de } \text{CaSO}_4}$$

Rizos de yeso

Punto núm. 4.

Se halla junto al núm. 3, al fondo en el sentido de avance del citado lago (9). Existen aquí numerosos rizos de yeso a ras de suelo, sobre un techo muy bajo, a la entrada de lo que debió ser un laminador.

La disposición de estas formas no obedecen a ninguna ley al parecer, ya que la orientación y ubicación de los mismos es totalmente anárquica. Únicamente destaca el hecho de que el conjunto yace en el único lugar donde la costra de yeso depositada es particularmente gruesa.

La longitud de estos rizos oscila desde unos pocos milímetros hasta más de 30 cm., no siendo extraño que presentasen rizos secundarios a modo de ramificaciones.

Su espesor, generalmente proporcional a su longitud, varía desde uno o dos milímetros hasta unos 5 cm.

Es marcado el carácter fibroso de los mismos.

En este punto no se encuentra ni un solo ejemplar de yeso bien cristalizado, lo que hace pensar que la velocidad de agregación de los iones en el retículo cristalino era superior a la velocidad de ordenación de los mismos, de ahí su imperfección.

Estas formas de yeso se hallan en un lugar que se asemeja morfológicamente a un laminador, el cual por su posición pudo muy bien actuar de lento desagüe (v. gr., por percolación entre los sedimentos que acompañan a los bloques del proceso graviclástico obturante). Así esta pequeña circulación perturbaría la ordenación iónica en el retículo cristalino de un modo directamente proporcional a la velocidad de circulación de la misma. Un argumento en pro de este aserto, lo constituye el hecho de existir cristales de yeso perfectos sobre las agujas de CaCO_3 sublacustres, en un lugar donde la sección de la cavidad presenta un área considerablemente mayor que en este punto.

Espárragos de aragonito

Punto núm. 5.

Instalado en una red de estrechas galerías, que no son otra cosa que ramificaciones de la principal (9).

No debe existir dificultad en localizar ese punto, si tenemos en cuenta que dichas galerías se abren a ras del techo de la gran galería.

En numerosos lugares de estas pequeñas galerías existen estalagmitas radicales de aragonito (Benický) (13), de un diámetro que oscila de 0,4 a 0,9 cm., mientras que la longitud de su eje máximo puede rebasar los 10 cm.

En muchos casos el diámetro no es constante, sino que presenta estrechamientos y abultamientos en tal disposición, que recuerda bastante bien a las nodosarias.

Todos los ejemplares (al menos los estudiados) se presentan en densos agregados fibrosos-radiados con tendencia «drusiforme», en el sentido de su crecimiento, lo que hace que al tacto represente suave o áspero, según se la tome a favor o en contra del sentido de crecimiento citado. Esta circunstancia es perfectamente observable al microscopio, con lente de pequeño aumento (de 10 a 15 diámetros).

Teniendo en cuenta que estas formaciones aparecen solamente en este punto de la cavidad, se plantea un problema, el de su génesis, la cual no está ni mucho menos esclarecida. No obstante, se puede decir sobre ello que estas formas radicales parecen haber sido formadas por aportes hídricos de muy pequeño caudal, y con una atmósfera que favorezca el depósito, esto es, con pequeña presión parcial de anhídrido carbónico. Es decir, que según la notación de Montoriol, se englosan bajo la siguiente condición:



Según esto y de manera acorde a las conclusiones llegadas sobre los análisis del punto núm. 2, estas formas deberán ser antiguas y en correspondencia a otras formaciones bajo las mismas condiciones. En favor de esto, destaca el hecho de que actualmente no crecen, ya que la carencia de aporte hídrico es prácticamente absoluta. En

cualquiera de las maneras, el problema no está ni mucho menos resuelto.

* * *

Teniendo en cuenta que estas formaciones son macizas, cabe pensar que el escurrimiento acuoso se efectúe por el exterior de las mismas, lo que estaría conforme con la citada disposición «drusiforme», visible al microscopio y apreciable al tacto.

III. CONCLUSIONES

La galería principal de Lazalday, antiguo «talweg» que drenaba la zona, poseía en principio una atmósfera poco propensa a la acumulación de CO₂, por lo que posiblemente funcionase (punto núm. 2) como un sistema termocirculante de dos bocas.

Posteriormente, el acúmulo de CO₂ en la cavidad fué un hecho, al parecer sincrónico con el hundimiento del fondo de la galería principal (puntos núms. 2, 3 y 4), y formaciones sublacustres allí establecidas.

Es muy probable que la apertura del nuevo «talweg», actual desaguedero, tenga relación con esta brusca obstrucción.

El funcionamiento actual intermitente de la galería principal es debido, sin duda, a la absorción hídrica esporádica de algunas de las numerosas dolinas exteriores. Las galerías del punto núm. 5 corresponden a absorciones de este tipo, con la particularidad de ser ya formas muertas, por lo que quedaron colgadas a ras de techo, al evolucionar gravitacionalmente la galería principal.

El punto núm. 1 está instalado sobre una forma actual

de absorción intermitente, pero es tributario del «talweg» vivo actual.

Galería principal de Lazalday

F A S E	ATMOSFERA	F O R M A
Apertura a presión	—	—
Circulación gravitacional (sistema termocirculante)	poco CO ₂	—
Detrimento caudal hídrico (Auge talweg actual vivo)	poco CO ₂	Estalagmitas de caudal Estalactitas mixtas Estalactitas radiculares
Hundimiento graviclástico (régimen lacustre)	aumento CO ₂	Estalagmitas climáticas Estalactitas de caudal Drusas de aragonito Depósitos de yeso
Régimen actual	aumento CO ₂	Litogénesis de cavidad «cerrada» (una sola boca).

Es evidente que el aumento actual del CO₂ no puede ser indefinido, puesto que la circulación actual por el «talweg» vivo originará necesariamente un pequeño arrastre del CO₂ atmosférico hipogeo, factor evidentemente contrario al clásico acúmulo de CO₂ hacia la profundidad.

Ante dos influjos contrarios, el resultado es un equilibrio dinámico que persistirá, si no varían las condiciones iniciales.

Se puede, pues, predecir que la cuantía del CO₂ llegará a un valor máximo, el cual no se rebasará mientras la cavidad no se fosilice.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) ERASO, A.: *Algo sobre la climática de Ojo Guareña*. «Excma. Diputación de Burgos», Vitoria, 1959.
- (2) — — *Ensayo sobre la climática de Mairuelegorreta*. «Bol. Sancho el Sabio de Vitoria», t. III, núms. 1-2, Vitoria, 1959.
- (3) — — *Fenómenos superficiales aplicables a microclimas*. «Speleón», Vitoria, 1957.
- (4) — — *Karst en yeso del diapiro de Estella*. «Munibe de San Sebastián», Estella, 1957.
- (5) — — *La corrosión en el «fuso» de Maucci*. «Soc. Adrat. Sc. Nat. Trieste», Estella, 1959.
- (6) — — *Polje de Zaldibe*. «Munibe», núm. 4, San Sebastián, 1958.
- (7) — — *Torca del Carlista*. «Memorias de la Asamblea regional de Espeleología de Carranza», 1958. Publicaciones de la Excma. Diputación de Vizcaya, Bilbao, 1959.
- (8) — — LLANOS, A.; AGORRETA, J. A.; FARIÑA, J.: *El karst subyante de Apodaca y zonas próximas*. «Excma. Diputación Foral de Alava», Vitoria, 1959.
- (9) LLANOS, A.; AGORRETA, J. A.: *Estudio espeleológico de la cueva de Lazalday Zárate*. «Boletín Sancho el Sabio», Vitoria, 1960.
- (10) MONTORIOL, J.: *Relaciones entre la Quimiolitogénesis y la Termocirculación*. «Speleón», t. X, núms. 1 y 2, págs. 33 a 45, Oviedo, 1959.
- (11) — — *Sobre la abundancia relativa en las formas higoceas...* «Urania», núm. 235, Tarragona, 1953.
- (12) RANKAMA-SAHAMA: *Geoquímica*. 1 volumen, 862 págs.
- (13) SLOVENSKY KRAS: *Sborník Múzea Slovenského Krasu*. «V lpt. Mikuláši.», 1 vol., 127 págs., 66 figs., 1956.
- (14) TROMBE, F.: *Traité de spéléologie*. 1 vol., 376 págs., 112 figs., París, 1952.

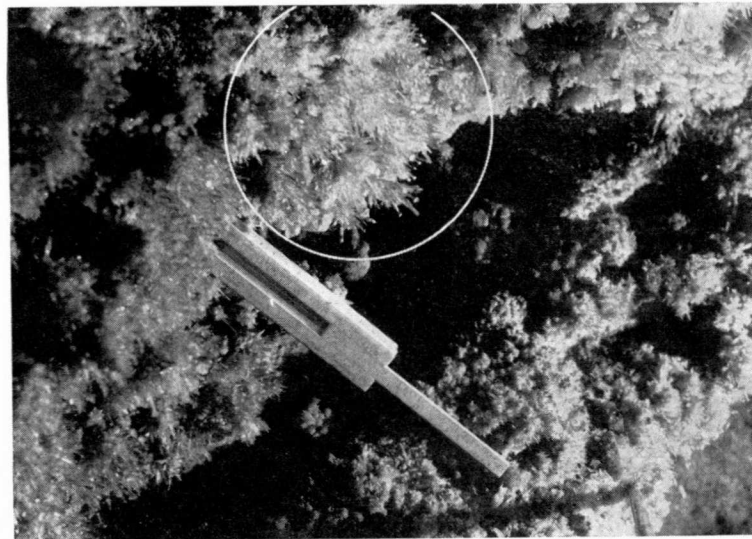


Foto 1.— Aspecto de las drusas de aragonito. (Obsérvense las placas de cristales de yeso situadas sobre algunos vértices de las agujas). Punto núm. 3.
(Foto Fariña).

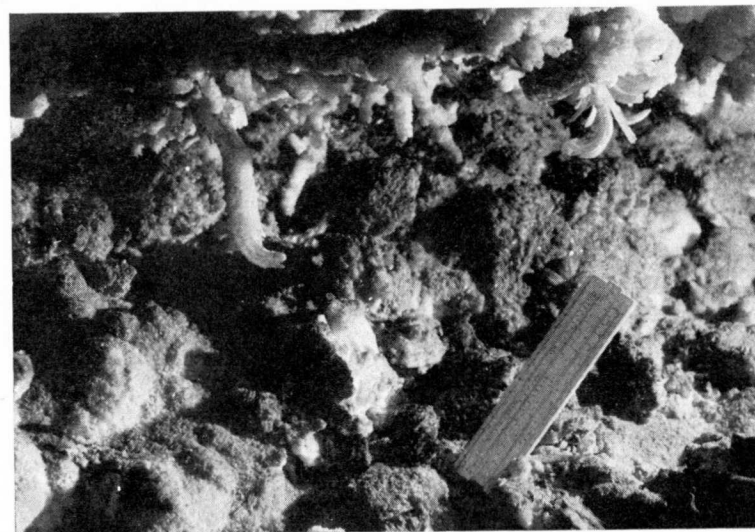


Foto 2 —Rizos de yeso. Punto núm. 4 (Foto Fariña).

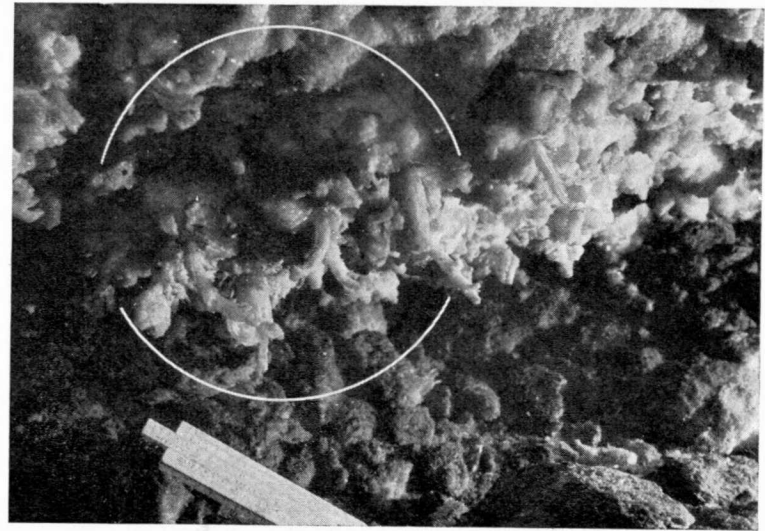


Foto 3.—Otros aspectos de los rizos de yeso. Punto núm. 4. (*Foto Fariña*).

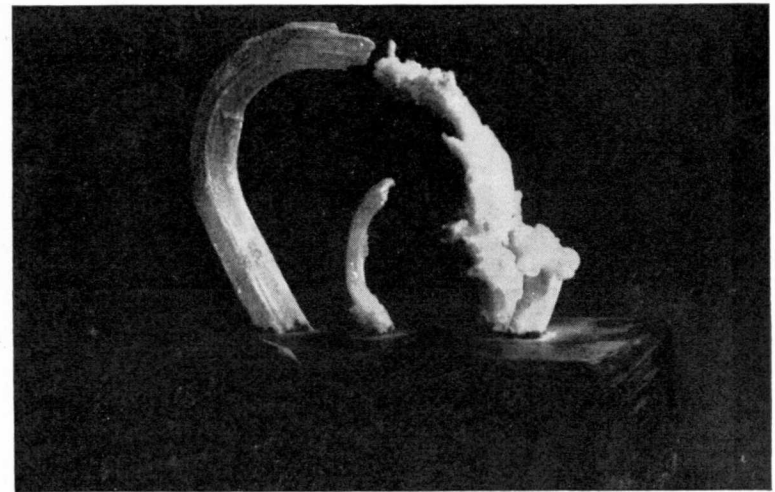


Foto 4.—Algunos ejemplares de yeso, sobre pedestal. Punto núm. 4. (*Foto Fariña*).

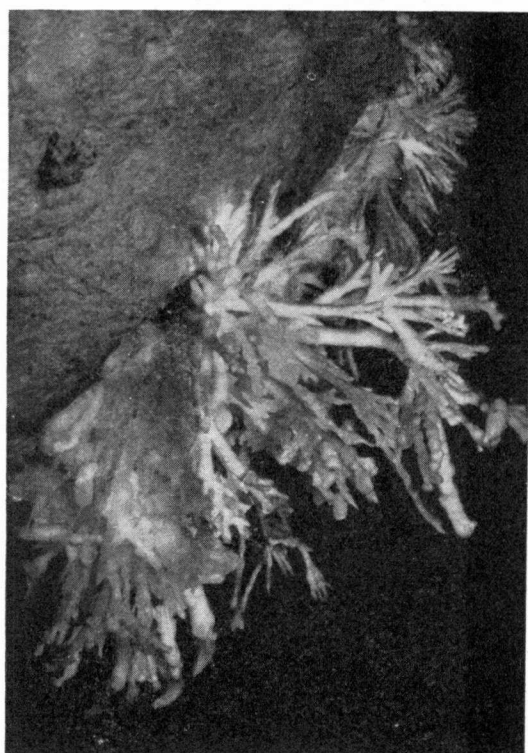


Foto 5.—Aspecto coralino de un grupo de estalactitas radicales de aragonito. Punto núm. 5. (*Foto Fariña*).

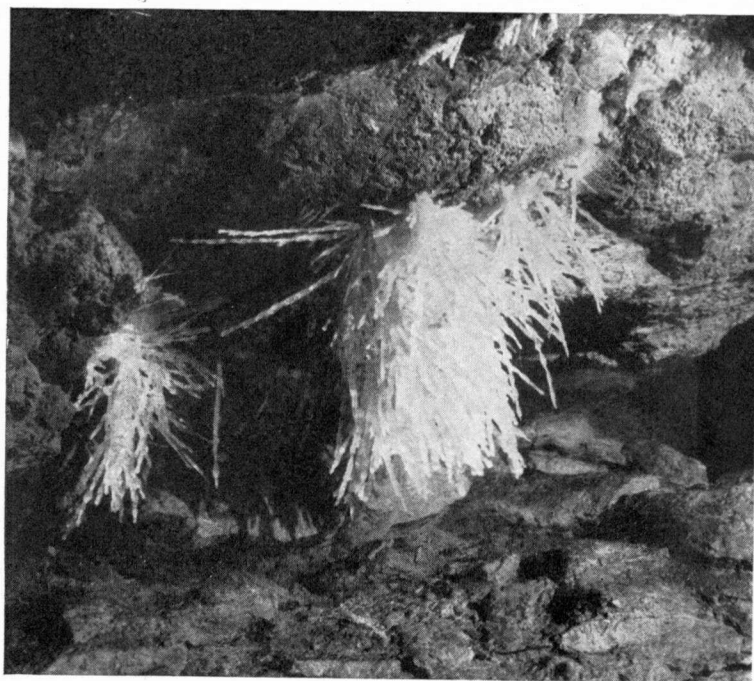


Foto 6.—Obsérvese los abultamientos sinuosos de las radículas.
Punto núm. 5. (*Foto Fariña*).



ANTONIO DUE ROJO, S. I.
Director del Observatorio de Cartuja (Granada)

NUEVAS DIMENSIONES DE LA INVESTIGACION GEOLOGICA

R E S U M E N

La actual colaboración internacional científica y los nuevos recursos técnicos hacen posibles en el campo de la geología, como en otros muchos, empresas de dimensiones continentales y universales en el globo terrestre; más aún: antes de emprender los proyectados viajes planetarios, se investigan las condiciones físicas del suelo de los astros. En esta reseña se recogen los últimos resultados de esas investigaciones.

S U M M A R Y

Thanks to the present international scientific cooperation and better technical facilities, the geological studies can be extended on a continental and fully terrestrial scale; moreover, before the planned extraterrestrial voyages, investigations are made about the physical conditions of planetary soils. The last results of such researches are here collected.

Varios factores han contribuido en nuestros días a dilatar el campo de los estudios geológicos en empresas de carácter cada vez más general, logrando por este medio visitas de conjunto y síntesis globales, no solamente a escala nacional (lo que ya es mucho para países de gran extensión), sino a escala continental, oceánica y mundial: unas veces, como en el caso del continente antártico, en virtud de una cooperación planeada conjuntamente por varias naciones; otras veces se ha obtenido el mismo resultado por mera adición de trabajos independientes so-

bre un mismo terreno, como está ocurriendo con las expediciones oceanográficas, y otras por colaboración en empresas comunes, cual ha sido el Año Geofísico Internacional, con intercambio de personal técnico o instrumentos de observación. De todos ellos aduciremos ejemplos recientes, bien se trate de estudios ya realizados y publicados, bien de planes para el futuro, como los que han sido objeto de diversas comunicaciones presentadas al 41.º Congreso de la American Geophysical Union en Washington, del 27 al 30 de abril de 1960, conforme al extenso programa que de ellas se ha enviado a los miembros de la asociación: hasta incluiremos investigaciones de carácter en cierto modo geológico, que exceden los límites terrestres y aspiran a darles dimensiones planetarias, al menos para cuando los medios y técnicas actualmente en proyecto, hayan alcanzado la debida madurez.

EL CONTINENTE ANTÁRTICO

He aquí algunos datos nuevos en parte publicados y en parte sólo anunciados en el Congreso de la AGU, relativos a la configuración del continente bajo la gruesa capa de hielo que lo cubre y que han revelado gran número de importantes accidentes geológicos: un gran canal se extiende bajo el manto de nieve helada y penetra mucho tierra adentro desde la barrera del mar de Ross hacia la Antártida occidental, probablemente hasta unirlo con el mar de Bellingshausen; este canal separa las montañas volcánicas de la Tierra de Marie Byrd, que son probablemente una serie de islas hundidas, desde la prolongación meridional de los plegamientos montañosos de la península artártica. El límite Sur del canal está formado por el horst antártico, que cruza el continente desde el cabo de Adare hasta el mar de Weddel;

la barrera de hielo de Filchner se extiende hasta 600 kilómetros al SW. de dicho mar: hacia los 82º S. y 90º W., una cordillera de menos de 150 kilómetros de longitud divide las extensiones subglaciales que hay entre las bahías de Ross y el mar de Weddel.

La superficie rocosa de la Antártida se encuentra casi en todas partes, al menos en los parajes medidos hasta ahora, sobre el nivel del mar, aunque se han hallado unas cuantas regiones de nivel inferior. Ha sido descubierta una gran meseta central que se cree debe su origen a un bloque de falla y se eleva en algunos puntos a unos 3.000 metros; parece estar relacionada con las montañas del Príncipe Carlos, que se extienden al menos hasta los 78º S. y a 1.100 kilómetros de la costa; a lo largo de los meridianos 95º E. y 140 E. la superficie rocosa está más o menos al nivel del mar por espacio de varios centenares de kilómetros tierra adentro.

Algunas dataciones de rocas, realizadas a lo largo de la costa antártica correspondiente al Océano Índico, han dado fechas comprendidas entre 0,5 y 1,5 × 10º años; medidas paleomagnéticas sugieren una situación relativa del polo durante el Jurásico, que difiere notablemente de la obtenida por este método para otros continentes en el hemisferio Sur. En cuanto al espesor de la corteza, estimado mediante la dispersión de ondas sísmicas superficiales y por gravimetría, ofrece resultados concordantes de unos 35 kilómetros para la sección oriental y de 25 a 35, según, las regiones, para la occidental (3).

Combinando los datos disponibles sobre altitudes y espesores de hielo, se estima el volumen total de éste en 30 millones de km³; estudios diversos acerca de la precipitación anual en todo el continente han demostrado que su variación es considerable de una a otra región en tan enorme superficie, y la cantidad global en toda

ella oscila entre los 800 y los 1.500 km³, con un promedio de 6-12 cm. de acumulación en forma de nieve. Se ha intentado hacer un cálculo de la tendencia actual de este hecho geológico, para determinar si existe ganancia o pérdida en la masa de hielo; pero las cifras son tan dispares y los datos tan insuficientes, que los resultados han sido poco satisfactorios; no obstante, se sigue trabajando para reconstruir en éste y otros aspectos la historia de la Antártida (4). Es de notar que hay alguna divergencia en este punto entre diferentes autores que han verificado los cálculos reseñados. Robin asigna un espesor medio general de 2.000 metros, del que deduce una cuantía total de hielo algo inferior: 27 millones de km³, y por el contrario, los rusos dan, respectivamente, 2.000-2.500 y 34 millones (6).

Se han publicado los primeros resultados de un estudio preliminar de la sismicidad de este continente; por primera vez, las doce estaciones sismológicas allí establecidas han proporcionado elementos para determinar la actividad sísmica de su suelo en pequeña escala: es decir, que se han localizado unos 20 epicentros en latitudes superiores a los 55° S., entre ellos seis bastante cercanos al polo: el más inmediato se encuentra a los 79,5° Sur y 164° W., y el más lejano a 70,5° S. y 155° W., todos ellos en el sector correspondiente a Australia y Nueva Zelanda (12).

LOS FONDOS OCEÁNICOS

Durante la década que termina en 1960 se han llevado a cabo numerosas investigaciones y exploraciones a escala mundial en orden a conocer los grandes fondos submarinos, y se ha intensificado a un ritmo cada vez más rápido la labor iniciada a principios de siglo, de

la que se han publicado y continúan publicándose en extensos volúmenes los resultados obtenidos. Se conocen más imperfectamente los trabajos de los investigadores rusos, cuyo navío oceanográfico «Vitia», de 5.500 toneladas, se encuentra ahora en su 27° crucero en aguas del Pacífico; tiene una autonomía de cuatro meses, durante los cuales no necesita repostarse tocando en puerto alguno, y lleva a bordo 73 técnicos, 13 laboratorios especializados de hidrología, meteorología, microbiología, estudio del plancton, etc., ancla capaz de ser fijada a 10.000 metros de profundidad y aparatos de sondeo y ras-tras con 16.000 metros de cable de acero; durante el año 1957 y dentro del plan del Año Geofísico Internacional, recorrió 62.000 millas marinas (115.000 km.) por el Pacífico; para el Atlántico fue botado el mismo año el «Michael Lomonosov», de 6.000 toneladas, donde viajan 65 técnicos y disponen de un helicóptero y de otro barco auxiliar de varios días de autonomía; el cable de sondeo alcanza 12.000 metros.

Más conocidos son los cruceros emprendidos en estos años por diferentes países, sobre todo los organizados por institutos oceanográficos de los EE. UU. y en particular los beneméritos trabajos del Laboratorio Geológico de Lamont, ya reseñados en estas páginas. La hazaña más reciente de este género ha sido las del batiscafo «Trieste», comprado por la Marina estadounidense y que ha superado en enero de 1960 dos marcas de profundidad simultáneas, al descender Jacques Piccard, hijo del inventor del aparato, acompañado de un oficial norteamericano, hasta 11.512 metros en la fosa de las Marianas, muy por debajo del récord anterior y aun del de mero sondeo, que antes detentaba el «Vitia» con 11.034.

Conforme al uso reciente, las diversas zonas del fondo oceánico se distinguen con esta nueva nomenclatura:

1) superficial = 0-200 m. ; 2) de transición = 200-2.000 ; 3) abisal = 2.000-6.000, y 4) ultraabisal o hadal (de hades, infierno), mayor de 6.000, cuyos porcentajes respectivos de distribución en la superficie marítima total son: 7,8-8,5-82,0 y 1,9 por 100.

El Océano Pacífico ha sido el campo escogido para la mayor parte de las exploraciones; gracias al sondeo permanente ultrasónico, especialmente el llevado a cabo por el «Vitia», las cartas batimétricas han sido considerablemente reformadas: muchas fosas han visto aumentada su profundidad antes admitida, y cinco de ellas sobrepasan los diez kilómetros; todas suelen ser extremadamente alargadas y situadas al borde de rosarios de islas volcánicas, agitadas frecuentemente por terremotos, y las anomalías gravimétricas positivas son allí muy importantes: la teoría de las corrientes de convección en capas profundas corticales parece explicar bien los hechos observados. La lista actual de las zonas hadales, siguiendo el cinturón circumpacífico, comprende las fosas de las Aleutinas y Kuriles, que forman la línea más larga y continua; siguen las del Japón e islas de Riu-Kiu, las de los archipiélagos de las Marianas, Bonin, Filipinas, Palaos, Sonda, Banda, Salomón, Nuevas Hébridas, Tonga y Kermadec, y por el E. las de los Andes y Guatemala.

Del mismo modo se está ampliando el catálogo de las cordilleras submarinas, de extraordinario interés ante el problema de la circulación profunda de las aguas y repartición de la fauna marina; ha sido una sorpresa el descubrimiento de fuertes corrientes abisales, consideradas hasta hace poco como improbables, y algo semejante está ocurriendo con el evidenciado intercambio entre las aguas del fondo y las de la superficie, sin el cual

sería inexplicable el contenido relativamente alto de oxígeno disuelto a muchos kilómetros de profundidad (5).

No menos apasionante resulta el llamado enigma de la cresta transoceánica, cuyo recorrido se ha comprobado por todos los mares, excepto el Pacífico Norte, de una longitud total de 72.400 kilómetros, con una profunda hendidura a todo lo largo, como si la corteza terrestre se hubiera agrietado y roto, siguiendo la línea de tan larga cordillera. Datos recientes de prospección sísmica indican que la cresta parece estar formada por rocas procedentes del manto, más bien que por las sedimentarias características de los continentes; las ondas sísmicas se propagan a través de ellas con la misma velocidad que a través del manto subyacente a la corteza.

Acaba de ser concedido, y muy justamente por cierto, a M. Ewing por primera vez el premio bienal recién fundado por Vetlesen, consistente en una medalla de oro, 25.000 dólares y un apoyo financiero para la publicación de trabajos científicos del agraciado; la finalidad de esta nueva fundación es premiar trabajos científicos de los que resulte una mejor inteligencia de la Tierra, su historia y su relación con el universo. Con tal ocasión, dio cuenta el beneficiario de estos resultados de su trabajo oceanográfico, a lo que siguió una animada discusión o coloquio sobre el origen y significado de tan extraño accidente geológico; el mismo Ewing y Vening Meinesz lo creen debido a corrientes de convección en el seno del manto, y Bruce C. Heezen a una expansión del globo terrestre, resultado quizá de una debilitación intrínseca de la fuerza de la gravedad. Que la atracción gravitatoria universal haya decrecido con el tiempo, fué sugerido primeramente en 1937 por el físico inglés Dirac, y R. H. Dicke, de la Universidad de Princeton, ha calculado su efecto sobre el tamaño de la Tierra, cuyo perímetro ha-

bría de aumentar 1.170 kilómetros en 3.250 millones de años. Recientemente, J. Tuzo Wilson, de la Universidad de Toronto, hacía notar que semejante incremento corresponde casi exactamente al área total de la cresta; otros geofísicos han sugerido que la variación de densidad de los materiales internos podrían haber producido el mismo efecto, sin que hubiera habido cambio en la constante gravitacional; en febrero de 1960 los oceanógrafos australianos descubrieron otro nuevo accidente tectónico: una profunda trinchera en el Océano Índico, que corre paralela a la cresta misteriosa, unos 1.300 kilómetros al W. de ella, y mide por lo menos 400 de largo, con una anchura entre ambos bordes que varía de 16 a 30 kilómetros (18).

Entre tanto, siguen publicándose extensos e interesantes trabajos de análisis y discusión sobre los datos obtenidos en exploraciones, sondeos y obtención de cilindros de sedimentos en parajes muy diversos de los océanos, por donde se va reconstruyendo la historia del globo terrestre en sus aspectos geodinámico y paleontológico, gracias a los modernos métodos de prospección y análisis radiactivos, aplicables estos últimos igualmente a los sedimentos, a los fósiles que frecuentemente contienen y a las muestras de agua a distintas profundidades (7), (8), (9), (14).

GEOTECTÓNICA UNIVERSAL

Desde hace bastantes años se sabía que la dispersión de velocidad de las ondas sísmicas superficiales de Love y Rayleigh, de largo período, depende de la estructura de la corteza terrestre y del manto, y en particular de la distancia que separa a éste de la superficie; pero hasta la última década no se había desarrollado esta técnica

como instrumento eficaz de trabajo para la exploración cortical del globo, principalmente gracias a los trabajos del Observatorio geológico de Lamont. Dentro del plan del Año Geofísico Internacional, este Centro de investigación facilitó a los observatorios suecos de Esocolmo y Kiruna, algunos de sus péndulos de largo período, y mediante ellos M. Bath ha determinado, para 13 focos sísmicos convenientemente situados, esa dispersión en rutas superficiales que recorren prácticamente todos los océanos y continentes, con la sola excepción de Sudamérica, y ha publicado los correspondientes resultados, previa discusión de los métodos seguidos en cada caso.

Respecto de los continentes, el problema, aunque satisfactoriamente solucionado en sus líneas generales, no puede aún considerarse definitivamente resuelto en esta primera investigación; a juicio del autor serían necesarios para ello muchos más datos de observación, y atendida la complejidad de los cálculos exigidos, se impediría aquí el uso de calculadoras electrónicas; no obstante, varias rutas especialmente favorables a través de Eurasia y Norteamérica, como también una de las ondas W_2 que recorre de N. a S. todo el continente africano, dan un espesor medio bastante aceptable de 10 a 15 kilómetros más para Eurasia que para América del Norte, y en general la velocidad de las ondas transversales en la región superior del manto es de 4.3 a 4.4 km./s. *provisoriales*. En cambio, las rutas oceánicas, más homogéneas y fáciles de discernir, eliminando algún que otro trayecto parcial por tierra firme, ha permitido tabular un resumen bastante descriptivo, a saber:

REGION	ESPESOR			Velocidad ondas transversales manto. Km./s.
	Corteza Km.	Agua + sedimento no consolidado Km.	Sedimento no consolidado Km.	
Océano Glacial Artico	8	5,3	—	4,6
Océano Indico (a lo largo de su cresta)	15-20	5,5	1,5	(4,2)
Océano Pacífico: a) Central	4	5,1	0,9	4,5
» b) Margen occid.	15-20	5,6	1,6	—
Océano Atlántico: a) Norte	—	4,8	1,2	—
» b) Sur	5	4,6	0,8	4,6

Como se ve, estas observaciones demuestran la estructura genuinamente oceánica de la región central del Artico, así como la completa semejanza entre la del fondo atlántico y del Pacífico (1).

En el terreno de la geotectónica se están empleando procedimientos novísimos que prometen mucho en un futuro próximo. Ya es una especie de axioma técnico que cualquier fenómeno natural puede reproducirse en cinta magnetofónica, y una de sus aplicaciones ha sido el registro sísmológico, así de cualesquiera terremotos, como de muy diversas clases de prospecciones de este género; los sismogramas traducidos después a forma gráfica han resultado excelentes y de aplicación correcta a toda clase de cálculos, como se ha podido apreciar en las gráficas publicadas (20); y en cuanto a otros métodos atrevidos de investigación del interior del globo, son dignos de mención los empleados en el laboratorio de Geología de la Universidad de Harvard, donde sometiendo a presiones elevadas y altas temperaturas algunas muestras minerales de albíta, se han obtenido cristales de jadeíta; como es bien sabido, la diferencia de composición, a base de los mismos elementos, está en la proporción de Si y

de O, algunos de cuyos átomos son expulsados por tal procedimiento y originan dicho cambio. De este experimento se ha deducido una importante consecuencia para explicar la discontinuidad registrada al comienzo del manto terrestre; allí, la densidad crece repentinamente en un 20 por 100, y si el cambio se debiera a igual causa que en la transformación descrita, se seguiría de ello que los materiales a partir de la discontinuidad serían los mismos que los de la corteza, aunque cristalizados y alterados por efecto de la presión y temperatura, al pasar éstas de un cierto valor crítico. Ya anteriormente se había logrado modificar diversos cristales en esos laboratorios, y en los de la General Electric se habían fabricado diamantes partiendo del grafito (16). Si se confirmara la hipótesis antes citada de que la nueva cresta oceánica descubierta no es más que una extrusión de materiales del manto, y se extrajeran muestras de ellos, acaso tales trozos auténticos del hasta ahora inaccesible interior de la Tierra revelarían una alteración en sentido inverso, de resultas de la descompresión ocasionada por su salida al exterior.

GEOLOGÍA LUNAR

No han faltado autores que así como en astronáutica emplean ya términos nuevos, como «alunizar», han comenzado a hablar de «lunimotos» y otros fenómenos geológicos trasladados a nuestro satélite; creemos, sin embargo, más propio conservar la nomenclatura terrestre y dar a los prefijos relativos a nuestro planeta un significado amplio, de modo que no designen precisamente a la Tierra con mayúscula, sino a la tierra o suelo común a cualquier astro; de aquí la razón de ser del subtítulo que acabamos de usar.

Varias veces se ha intentado resolver problemas geológicos lunares comparando sus accidentes fotografiados con otros semejantes de aquí abajo, tales como aparecen en fotografías aéreas: el paralelismo es, a veces, notable: por ejemplo, entre el conocido Muro Recto de la Luna y una falla de subsidencia de las islas Galápagos; entre las crestas que surcan el Mar de la Serenidad y otras debidas a presiones laterales en la misma región del Pacífico oriental, y entre una colección de fotos de presuntos cráteres meteóricos en el Escudo Canadiense y los circos lunares (2). El método clásico para llegar al conocimiento de los procesos geológicos en nuestro satélite ha sido la conjetura, fundada en el estudio de lo que allí se observa; así Harold C. Urey, de la Universidad de California, partiendo de la hipótesis del origen meteórico de los llamados cráteres lunares, en una comunicación al Congreso citado de la AGU, después de recordar la existencia de pruebas de que el período de bombardeo meteórico más intenso tuvo que haber durado solamente escasos millares de años, añade que aunque se habían formado cráteres por proceso de colisiones en el borde de los «mares», no faltan, sin embargo, otros en su mismo centro, como se aprecia bien en el Mar de las Lluvias, asimismo, las cordilleras cercanas al Mar de la Serenidad irradian del mismo punto: si este último se hubiera formado posteriormente al de las Lluvias, tales cordilleras hubieran sido destruidas o al menos mostrarían perturbaciones geológicas al ser reemplazadas posteriormente por el sistema radial del de la Serenidad. Este orden de procesos queda confirmado por el hecho de que los accidentes topográficos debidos a la colisión que originó el Mar de las Lluvias, se encuentran en las cercanías del de la Serenidad, pero ninguno en su superficie: señal, por otra parte, de que

la porción correspondiente a éste era líquida y no sólida cuando ocurrió el bombardeo (19).

Pudiera parecer prematuro hacer ya planes concretos acerca de la llegada de astronautas a la superficie de la Luna, uno de los cuales es sin duda la exploración previa desde la Tierra de las condiciones geológicas del suelo donde han de poner el pie; y, sin embargo, entidades oficiales tan serias como la Geological Survey de los Estados Unidos y el Servicio Militar de Cartografía, están haciendo un estudio conjunto de esta clase, destinado eventualmente a la selección de sitios aptos para aterrizaje y proyectos de instrumentos telemétricos y vehículos apropiados para aquella superficie. A este fin, cuentan con la cooperación de los observatorios mediante el suministro de fotografías seleccionadas a pares, en orden a la obtención de efectos estereoscópicos. El Servicio de Cartografía está preparando un mapa a escala 1:5.000.000, mediante un sistema modificado de proyección estereográfica, en el que los desniveles se representarán con intervalo de líneas, dependiente en cada caso de la mayor o menor precisión en las medidas; otro mapa está en preparación, que tardará varios años en realizarse, a escala 1:1.000.000. La Geological Survey ha emprendido simultáneamente el trazado de un estudio del terreno con descripción de los accidentes topográficos, incluidas las pendientes; asimismo contendrá la interpretación de los constitutivos estructurales de la superficie lunar, y considerará la probabilidad de que existan cavernas y otros refugios subterráneos (13).

Lo que sí es bastante factible y merece estudiarse, es el valioso auxilio que el automatismo electrónico puede prestar mediante el envío de instrumentos impersonales que resuelvan no pocos problemas prácticos interesantes, antes de los viajes propiamente tales. En una con-

ferencia internacional de astronáutica, celebrada en Niza en enero de 1960, se ha discutido la manera posible de explorar el suelo lunar, y si no traer de él muestras que analizar, siquiera realizar algo equivalente por los medios hoy conocidos y probados; tales serían aparatos capaces de posarse sin daño en el terreno y transmitir fotografías y aun microfotografías del material circundante: esto último se podría hacer por medio de un tira de plástico adhesiva, a modo de lengua de insectívoro, donde quedarán partículas de polvo, que examinadas dentro del aparato por un microscopio anónimo, permitirían enviar las imágenes como lo ha hecho el satélite Tiros I con las formaciones nubosas terrestres.

En particular, varios sismólogos de los Estados Unidos han tratado de la utilidad que por medios parecidos reportaría un registro sísmico a distancia en orden al conocimiento de la estructura y composición internas de la Luna, así como a la comprobación de la presencia o ausencia de una sismicidad lunar, clave importante para descifrar el enigma del proceso tectónico actual y pasado, cuyos efectos vemos en su superficie. En una primera fase de semejantes experimentos, figuraría el registro de ondas parecidas a las de nuestros sismógrafos, obtenido mediante péndulos individuales, suficientes para dar una idea aproximada de una actividad sísmica, de donde deducir su naturaleza y composición, y sus rasgos tectónicos generales. En ausencia de una sismicidad lunar propiamente dicha, los impactos meteoríticos por sí solos, a juzgar por consideraciones estadísticas a este propósito, se cree bastarían para ello, como fuente de energía registrable. Los pormenores relativos al motor más conveniente, a base de baterías químicas o solares, y a la interpretación de los resultados, te-

niendo en cuenta ciertos factores especiales, implicados en la naturaleza del suelo y eventual atenuación de las ondas por causa del polvo lunar, serían objeto de ulteriores discusiones (15).

La exploración lunar, con todos sus problemas, a muchos de los cuales todavía no se les ve solución satisfactoria (y cuya exposición no es de este lugar), se considera hoy como un primer paso obligado para la de otros astros, y al mismo tiempo como clave de numerosos enigmas astronómicos; como estación intermedia para ulteriores expediciones es además una esperanza de simplificación para las enormes dificultades prácticas de la futura era astronáutica. A pesar de ser un mundo muerto y sin cambios, precisamente por eso están allí las respuestas a cuestiones fundamentales geológicas, no sólo de la Luna, sino también de la Tierra, del sistema solar y quizás del universo en general: viene a ser una piedra de Rosetta donde se leerán multitud de procesos antiquísimos, porque en aquel suelo está escrita la historia de la acción solar sobre sus planetas, huellas que aquí han sido borradas por los agentes erosivos. Los hay también en la Luna, aun en la actualidad: erosión meteórica, térmica (oscilación total del orden de los 400° C), de rayos cósmicos y radiaciones diversas que corroen sus rocas, etc., pero todo ello en escala incomparablemente menor, como lo demuestra la circularidad perfecta de sus cráteres, que de haber estado sometidos a violentos cambios orogénicos, ya no serían discernibles al cabo de tantos millones de años. Acaso la única muestra de algo semejante a lo ocurrido en la Tierra sea el famoso Muro Recto, signo probable de una falla, de cien kilómetros de longitud y 240 metros de desnivel entre una y otra hoja. Se ha asignado a algunos rasgos lunares geológicos una antigüedad de

4×10^9 años, y el polvo cósmico y meteórico que se ha ido depositando allí tiene que haber formado «sedimentos», en cuyas capas se podría descifrar una interesante historia y una especie de biografía del universo; acaso contenga hasta «fósiles cósmicos» en forma de esas moléculas complejas y gérmenes interplanetarios con que se ha soñado para evitar la anticientífica generación espontánea, definitivamente descartada por Pasteur.

Uno de los datos más interesantes que se espera obtener de la exploración lunar es la historia de su temperatura, que ayudará a reconstruir el origen del Sol y sus planetas, y a decidir de una vez la controversia de si un sistema planetario es o no un fenómeno raro en el universo, como lo sería si prevaleciese la teoría de Jeans sobre una fortuita y poco probable colisión sideral, porque entonces los protoplanetas, de una elevada temperatura, se habrían enfriado hasta llegar al estado presente; por el contrario, la más reciente y aceptada teoría de la «nube de polvo» implicaría un proceso inverso, pues los planetesimos que se condensaron en planetas y satélites partirían de un estado inicial frío, y además argüirían una abundancia de sistemas planetarios en el cosmos casi igual a la de las estrellas, por ser su natural complemento en un proceso evolutivo normal; lo cual no excluiría un calentamiento y hasta fusión ulterior de materiales, aunque debidos a fuerzas endógenas, principalmente radiactivas.

Tratándose de un astro tan pequeño como la Luna, el calor engendrado por su propia radiactividad se disiparía rápidamente en su superficie. Urey, y más recientemente Gordon J. F. Mac Donald, de la Universidad de California, en Los Angeles, han demostrado que esta sola fuente de energía térmica no sería capaz de haber elevado la temperatura lunar hasta el punto de

fusión, a no ser que nuestro satélite estuviera ya relativamente caliente al tiempo de su constitución definitiva; concretamente, afirma Mac Donald, a unos 600° C., cosa harto improbable en la teoría de la nube de polvo, pero verosímil en la hipótesis contraria. Pero la observación a distancia de aquellos materiales parece indicar que nunca estuvieron fundidos: en primer lugar, falta la deformación consiguiente a la inevitable plasticidad propia de un estado de fusión inicial, ya que el abultamiento ecuatorial no corresponde proporcionalmente al nuestro si se debiera a la rotación, y tiene que estar relacionado con una proximidad a su planeta mucho mayor en los principios de su historia que en la actualidad; desde entonces ha conservado irregularidades que en la hipótesis de la plasticidad debieran haberse reabsorbido, lo cual arguye una masa interna rígida y fría. Por el contrario, la Tierra parece haber respondido más dócil y flexiblemente a los probables cambios de velocidad de rotación, aunque con un retraso de unos cien millones de años, por ser suficientemente caliente y plástica en su interior. El día en que un satélite artificial permita hacer en la Luna observaciones de distribución de densidades, se sabrá si en efecto hubo alguna vez fusión, y por tanto los metales pesados están concentrados en el núcleo, o por el contrario, sólo hubo aglomeración de pequeños elementos fríos planetesimales, en cuyo caso estarán uniformemente repartidos como las pasas en un pudding.

Los mejores telescopios actuales, por culpa de la oscilación atmosférica, no dan imágenes lunares limpias de menos de 16 kilómetros de diámetro por vía visual, y son mucho peores para la fotografía, incapaz de acomodarse rápidamente a tales variaciones; pero desde hace pocos años al radiotelescopio de Jodrell Bank se le deben

útiles aportaciones en este terreno: se partió del hecho de que cuando la luz u otra radiación electromagnética, cuales son las ondas de radio, llegan a una superficie esférica pulimentada, se reflejan como si procedieran de un solo punto de ella; por el contrario, si no es lisa, es decir, si el tamaño de las asperezas individuales es igual o mayor que la longitud de onda incidente, habrá difusión por una gran extensión superficial, como si se tratase de la luz de una bombilla esmerilada; esto es lo que ocurre con la luz visible reflejada, cuya longitud de onda es del orden de un micrón, pero la reflexión es perfecta para ondas de 10 cm., lo que ya indica entre qué límites se encuentra el diámetro del grano de tales asperezas.

Este resultado plantea una nueva cuestión: nadie duda de que una lluvia o mejor granizada meteórica está cayendo sin cesar sobre el suelo lunar sin defensa atmosférica alguna (hoy se admite una presión de 10^8 a 10^9 veces menor que la terrestre para los restos atmosféricos, que pueden haber sobrevivido en nuestro satélite), y entre esos proyectiles de todos los tamaños tiene que haber muchos que produzcan cráteres de más de 10 cm.; y sin embargo, parece que no los hay... Prescindiendo de los gigantescos a quienes se atribuyen los circos y aún los mares, otros menores hieren sin duda las laderas montañosas y el polvo de sus rocas caerá hacia los valles, donde se acumulan a los residuos de los demás impactos: como no hay viento, todo ese polvo habría de estar agujereado por hoyos de todos los tamaños, a no ser, y esta es una solución obvia y aceptable, que la ulterior lluvia de micrometeoritos baste para igualar y rasar la superficie. Gold ha propuesto otra más ingeniosa: sugiere que los protones solares que bombardean la Luna comunican una carga positiva

a las partículas próximas al sitio donde caen, y la mutua repulsión las dispersa; en el laboratorio hizo la prueba bombardeando con electrones las partículas de polvo y observó que, en efecto, éstas saltaban como garbanzos mejicanos; por otra parte, el peso de ese mismo polvo tiene que comprimir hasta cierto punto las capas inferiores (se les han asignado espesores muy diferentes, desde varios centímetros hasta varios kilómetros), y el conjunto tendrá por lo menos la estructura de una especie de bizcocho; si tiene razón Gold, la elección de un lugar apto para posarse en la Luna un vehículo espacial, aunque se trate de los impersonales, no será tan fácil, si se quiere evitar su hundimiento y consiguiente inutilización.

Entre los instrumentos que deberán llevar esos precursores, el más útil bajo el punto de vista del análisis del suelo, será quizás el espectrómetro de rayos gamma: un cristal detector de esos rayos, emitidos por el uranio, torio y potasio radiactivos, y un analizador encargado de separar las diferentes longitudes de onda, indicarán la cuantía respectiva de esos cuerpos en la corteza lunar, lo que a su vez dará idea de la clase de rocas de que está compuesta y hasta qué punto el calor inicial puede ser responsable de la radiactividad. Existen ya gravímetros capaces de apreciar variaciones en la acción de la gravedad debidas a la marea cortical producida por la atracción Sol-Tierra, que se calcula en un par de dm., y eso proporcionaría elementos de juicio para determinar la viscosidad y elasticidad del interior de la Luna; hasta se ha pensado en vehículos provistos de instrumentos, accionados por baterías solares y aptos para ser regidos desde la Tierra, verdaderos laboratorios ambulantes que prestarían útiles servicios, aunque forzados a un descanso quincenal durante la larga

noche lunar ; con esos datos sobre las condiciones del medio, serían ya menos aventuradas las expediciones personales (10).

GEOLOGÍA PLANETARIA

Por razones obvias son más difíciles de conocer los caracteres físicos del suelo de los planetas, aun de los llamados «terrestres» (Mercurio, Venus y Marte) más parecidos al nuestro. En primera aproximación, la medida de la luz que de ellos recibimos es ya un paso para llegar a este conocimiento: el brillo expresado en lamberts (el de una superficie que emite luz a razón de un lumen por centímetro cuadrado) y el albedo, si se trata de un cuerpo reflector, o sea la relación entre el flujo luminoso emitido y el recibido; la comparación entre los caracteres así determinados y los observados en la Tierra para diferentes cuerpos en diversidad de circunstancias permite establecer analogías para deducir cómo es aquella superficie. Por otra parte, la luz que nos llega directamente del Sol no está polarizada, pero sí lo está más o menos la reflejada que viene de los astros del sistema planetario, según la estructura y propiedades físicas del reflector, y otro tanto se diga de las modificaciones que sufre al pasar de vuelta por la atmósfera de un planeta, apreciadas espectroscópicamente; hay medios ingeniosos para eliminar en estas observaciones el factor atmosférico terrestre y distinguir sus efectos de los que tienen un origen planetario. Así por ejemplo, respecto de la Luna, las observaciones polarimétricas de Barabascheff demostraron que la estructura de su suelo era de constitución porosa y las partes más brillantes eran de estructura arenosa o margosa. El valor medio admitido para su albedo es de 0,07.

Mercurio.—Poco se sabe de este planeta tan poco favorable a la observación; su albedo, de 0,06 es casi igual al de nuestro satélite y arguye una estructura y composición similar del suelo, donde se admite la presencia de rocas eruptivas de basalto y lava oscura, con grandes irregularidades superficiales. La polarización de la luz que nos envía es también similar a la de la Luna; Dollfus, discípulo y sucesor del benemérito Lyot, logró medir en condiciones casi ideales la proporción de luz polarizada en luz verde y roja, procedentes de las partes iluminadas y oscuras del planeta, y los resultados, para ángulos de fase comprendidos entre 0 y 140, coinciden bien con lo obtenido en la Luna, lo que permite inferir de nuevo la semejanza de ambos suelos. Del mismo autor son otras observaciones que arguyen la presencia de una tenue atmósfera de un espesor 0,0003 de la terrestre. Las medidas térmicas hechas en Monte Wilson por Petit y Nicholson dieron para la región subsolar, a la distancia media del Sol, 337° C., con un máximo de 412 en el perihelio y 282 en el afelio; para ángulos de fase de 90 y 120, estas temperaturas vienen a ser 100 y 200 grados menores, respectivamente.

Venus.—Su albedo de 0,60 es considerable, como corresponde a las espesas nubes que lo ocultan; aun a la luz ultravioleta con que se hicieron en el Observatorio de Lick interesantes fotografías, no se llegó a penetrarlas, aunque sí a poner de manifiesto dos bandas nebulares en dirección perpendicular al terminador o borde de la porción iluminada del disco; recientemente (1954) Kuiper obtuvo asimismo bandas alternas brillantes y oscuras, variables de un día a otro y que parecían ser paralelas al ecuador.

Las hipótesis sobre los caracteres físicos de la superficie sólida están ligadas al problema de la atmósfera:

hace pocos años estimaba Dole que la presión había de ser allí diez veces mayor que en la Tierra, lo que coincide con conjeturas anteriores acerca de la misteriosa naturaleza de aquellas nubes; no han faltado sugerencias de que se trate de pequeños glóbulos de cuarzo (Hulst, 1949) y las medidas polarimétricas han dado resultados poco concordantes: partículas de un par de micrones de diámetro con índice de refracción semejante al del agua, de la que por otra parte no hay el más leve indicio espectroscópico, y cuya presencia en forma de vapor apenas es compatible con las bajas temperaturas (-39°) de las capas superiores.

Una actividad volcánica semejante a la nuestra y que continuase en la actualidad, podría explicar bien la gran proporción de CO_2 observada, y que en ausencia de agua en que disolverse permanecería, como opina Urey, en la atmósfera; por el contrario, hay autores (Menzel y Whipple) que defienden un punto de vista completamente opuesto: una superficie planetaria completamente cubierta por océanos. Por lo demás, las teorías más dispares se suceden unas a otras, y faltan elementos de juicio para decidir algo en firme.

Marte.—Mucho mayor disparidad existe, como es sabido, acerca del «planeta rojo»; según los datos más recientes, que aquí resumimos, en las mejores imágenes telescópicas aparecen dos clases de rasgos: permanentes y estacionales. Los primeros, anaranjados o rojizos de forma irregular, rodean a otros de un gris oscuro o verdoso con bordes bien definidos, que los primeros cartógrafos de Marte bautizaron, respectivamente, con nombres de continentes y mares; entre los segundos ocupan un lugar preeminente los casquetes polares, y no faltan nubes, verosíblemente de polvo, al que se ha atribuido un origen volcánico (11).

Uno de los enigmas de este mundo singular es la variedad estacional de coloración, hacia el final de su otoño, de las manchas verdosas a un tono moreno más oscuro, acompañada de la discutida aparición de filamentos reticulados. Acerca del cambio de color se acaba de proponer una hipótesis atrevida, que tiende a desvirtuar la tesis de una vegetación, cuyo ciclo sería la explicación más sencilla del fenómeno. En el último Congreso astronómico de Londres, la profesora Ingeborg Schmidt, de la Sección de Optometría en la Universidad de Indiana, Estados Unidos, demostró que las manchas verdosas, atribuidas comúnmente a vegetación, son debidas a una ilusión óptica: sabido es que el reducido tamaño de la imagen fotográfica de Marte y las graves dificultades creadas por su atmósfera y la nuestra, unidas al escaso poder actínico del «planeta rojo», hacen necesaria una observación preferentemente visual, capaz de captar los escasos momentos en que se aclara la imagen. Para reproducir en la debida proporción los efectos ópticos subjetivos, proyectó diapositivas con varios círculos de color gris claro y gris oscuro sobre fondo anaranjado: los círculos se veían verdes por contraste, y se acentuaba el fenómeno al desenfocar ligeramente la linterna de proyecciones, paralelamente a lo que ocurre con el efecto atmosférico terrestre. El cambio observado (real desde luego) en el tono de color, lo atribuye a perturbaciones de transmisión, debidas a la atmósfera marciana, así como a diferencias de iluminación del suelo durante el ciclo estacional. La señorita Schmidt hace constar que ella no niega la posibilidad de vida vegetal en Marte, sino la inferencia deducida del tono verdoso, que por otra parte pudiera no ser el propio de aquella vegetación (17).

En cuanto a la naturaleza del suelo geológicamente

considerada, la opinión actual más común considera las partes claras como tierra seca y desértica; si algún óxido de hierro hubo antes tiene que estar ahora en forma de óxido de hierro que las cubre en forma granular o pulverulenta, origen de las nubes de polvo amarillentas que aparecen a veces y a las que se atribuye el mal éxito de los planes de observación hechos con motivo de la oposición de 1956, en la que se habían cifrado no pocas ilusiones. Las medidas polarimétricas de Dollfus parecen indicar que se trataba de polvo de óxido férrico hidratado; pero la teoría que últimamente ha tenido más aceptación es la denominada vulcánico-eólica de McLaughling; una ojeada al mapa del planeta muestra que muchas de las regiones oscuras se hallan en el hemisferio Sur y terminan, unas a modo de estuario en forma de triángulo o embudo, cuyo extremo inferior está torcido en dirección opuesta a la que llevaba ese accidente topográfico; en cambio, las que terminan en «bahías» al Sur del ecuador no se tuercen, y las que lo cruzan hacia el Norte lo hacen hacia atrás, es decir, hacia el NE. La explicación hay que buscarla en el régimen de vientos: durante el perihelio es verano en el Sur, y por tanto ese hemisferio está más caliente que el otro, y no habiendo en Marte montañas que desvíen los vientos, ni océanos que los moderen, los alisios del NE. han de cruzar el ecuador en derredor del globo marciano hacia el trópico meridional, donde por efecto de la rotación se desviarán a la izquierda, haciéndose antialisios del NW. Así, los vértices de los estuarios en forma de embudo señalan la dirección del viento que arrastrará consigo el polvo oscuro y lo extenderán sobre los mares; este polvo parece proceder de volcanes situados en los extremos de tales estuarios y bahías, lo que explicaría no pocos pormenores observados en este proceso: la variación temporal de

color y figura en las manchas oscuras, la desaparición de algunos rasgos superficiales o su desplazamiento, también observado, a otro lugar del planeta; los mismos canales pudieran ser enfilaciones de esas cenizas, que naciendo de los volcanes, se prolongan hacia los mares; y aun en las zonas templadas podrían formarse estos rasgos aparentemente lineales, mediante la acción de los vientos del Oeste y las tempestades ciclónicas, ya que precisamente allí siguen una dirección paralela al ecuador (11).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BAH, M.: *Seismic surface-wave dispersion: a world-wide survey*, «Geofísica Pura e Applicata», v. 43, págs. 131-147 (II-1959).
- (2) BEALS, C. S. et al.: *A search for analogies between lunar and terrestrial topography*, «The Journal of R. A. S. of Canada», v. 50, núm. 6 (423), págs. 250-261, noviembre-diciembre 1956.
- (3) BENTLEY, C. R.: *Subglacial structure of Antarctica*, «Program. Abstracts NLI Meeting AGU» (april. 27-30, 1960), pág. 16.
- (4) CRARY, A. P.: *Ice cover of Antarctica*, ibid., pág. 16.
- (5) DAJOZ, R.: *Progès récents de l'Océanographie des grands fonds*, «La Nature», v. 88, núm. 3.301, págs. 212-219, mayo 1960.
- (6) DOYEN, P.: *Notes sur l'Antarctique*, «Ciel et Terre», v. LXXV, números 9-10, págs. 285-291, sept.-oct. 1959.
- (7) DRAKE, C. L., GAIBAR-PUERTAS, C. et al.: *Estudios de prospección sísmica por refracción en el Golfo de Cádiz*, «Instituto Geográfico y Catastral», Madrid.
- (8) ERICSON, D. B. y WOLLIN, G.: *Microfaleontology and biology of arctic sediment cores*, «Geophys. Research Papers», v. 1, número 63, sept. 1959.
- (9) EWING, M. y GERARD, R. D.: *Radiological studies in the investigation of ocean circulation*, «Lamont Geol. Observatory Contributions», núm. 267 (1957).
- (10) JASTROW, R.: *The exploration of the moon*, «Sc. Amer.» v. 202, número 5, págs. 61-67, mayo 1960.
- (11) KIESS, C. C. y LASSOVZSKY, K.: *The known physical characteristics of the moon and the planets*, «Georgetown Observatory Monographs», núm. 12, págs. 1-37.
- (12) LANDER, J. F.: *Seismicity of Antarctica and Guam*, «Earthquake Notes», v. XXX, núm. 2, págs. 16-17, junio 1959.
- (13) MASON, A. C. et al.: *Terrain study and map of the surface of the*

- moon, «Program. Abstracts XII Meeting AGU» (april 27-30, 1960), pág. 23.
- (14) OFFICER, C. B. et al.: *Geoph. invest. in the Eastern Caribbean: Summary of 1955-1956 cruises*, «Physics and Chemistry of the Earth», v. 3, págs. 17-109.
- (15) PRESS, F. et al.: *Feasibility of a lunar seismic experiment*, cfr. (13), abril 1959.
- (16) «Sc. Digest»: *Artificial minerals help understanding of earth interior*, abril 1959, pág. 64.
- (17) — — *Green areas on Mars: an illusion?*, pág. 97, abril 1960.
- (18) «Sec. Amer.»: *Riddle of the Ridge*, v. 202, núm. 5, págs. 92-95, mayo 1960.
- (19) UREY, H. C.: *The duration of the intense bombardment of the moon*, cfr. (13).
- (20) WILLIS, D. E. y JOHNSON, J. C.: *Some seismic results using magnetic tape recording*, «Earthquake Notes», v. XXX, núm. 3, páginas 21-33, sep. 1959.

M. CRUSAFONT PAIRÓ

EL LIMITE SUPERIOR DEL VILLAFRANQUIENSE

RESUMEN

De acuerdo con los modernos datos aportados por los estudios geocronológicos aplicados al Cuaternario, se discute la cuestión del límite superior del Villafranchiense, considerándose que este piso debe terminar al final de los tiempos pregunzienses, siguiendo el criterio de la «vida media» establecido recientemente por Kurtén.

RÉSUMÉ

D'accord avec les données modernes fournies par les études de géochronologie du Quaternaire, on discute la question de la limite supérieure du Villafranchien lequel doit terminer à la fin des temps antérieurs au Günz suivant le critère de la «vie moyenne» établi récemment par Kurtén.

SUMMARY

In order to use the modern views on the chronology of the Quaternary, is discussed here the question about the upper limit of the Villafranchian who must coincide with the ending of the pregunzian times, this idea being supported by the criterion of «half life» recently concluded by Kurtén.

Desde que hace ya diez años, por una proposición presentada al XVIII Congreso Internacional de Geología celebrado en Londres, se acordó integrar la parte superior del Plioceno —o sea lo que se venía llamando Villafranchiense en términos de estratigrafía continental y Calabriense en la marina— y se discutieron en el mismo,

por muy numerosos especialistas del Cuaternario, las razones de todo orden que abonaban el buen sentido de esta proposición aceptada hoy por la inmensa mayoría de los geólogos, no ha existido, en cambio, un criterio de uniformidad en lo que se refiere al límite superior de este Villafranquiense en orden a la equivalencia exacta de su tope máximo con un determinado estadio dentro del marco de las alternancias glaciares de los inicios del Cuaternario (1950).

Todo ello ha traído como consecuencia un confusio-nismo evidente entre los estudiosos cuaternaristas que ha sido, además, agravado por las ya conocidas dificultades de correlación precisa entre las diversas fases glaciares del norte europeo, o de las series inglesas con las del círculo alpino, a pesar de los esfuerzos de paleontólogos, estratígrafos y morfólogos, al respecto. También ha sido laborioso el intento de correlación entre los períodos glaciares del continente europeo con los del sector asiático y con los pluviales de las zonas tropicales, así como las correspondencias entre las alternancias frías y cálidas de las regiones Paleártica y Neártica (Kurtén, 1957). De esta manera, en la literatura cuaternaria existen todavía muchas imprecisiones y disparidades de criterio que sería muy importante eliminar.

No es este el único caso en que se presentan dificultades al tratarse de la extensión requerida para un período determinado de la historia geológica, y en otro orden de ideas la de la ubicación precisa de un piso dentro de unos límites temporales correspondientes a divisiones mayores de la cronología terrestre. Recuérdense a este respecto los casos del Aquitaniense, oligoceno para unos y mioceno para otros, o el del Pontiense, mioceno para unos autores y plioceno para los restantes. Está claro que el enunciado simple del piso o de la fase correspon-

diente a una formación determinada basta, en los momentos actuales de disparidad, para despejar toda posible duda.

Los diversos Comités nombrados al efecto dentro del seno de la Comisión de Estratigrafía del Congreso Geológico Internacional, sin embargo, dirigen sus esfuerzos a la obtención de la tan necesaria unanimidad, tratando de obtener un criterio fijo para las ubicaciones y las correlaciones, y así llegar a establecer una nomenclatura, definición y acotamiento estratigráficos cuyos hitos temporales sean aceptados a la escala ecuménica.

Valga todo este preámbulo para referirnos ahora a la cuestión que encabeza como título estas líneas. En un trabajo recientemente aparecido (Crusafont, 1959), el autor de esta nota describía una comunidad biótica procedente de la localidad asturiana de Mestas de Cón, a la que atribuyó por el carácter de la asociación paleomastológica una edad correspondiente a la del interglacial Günz/Mindel, o sea cromeriense en sentido lato. Sin embargo, como en el título del trabajo se paralelizaba esta época con el Villafranquiense superior, la aparición de algunos trabajos de mi querido colega doctor Kurtén (1960 a, 1960 b), me ha sugerido la conveniencia de revisar el concepto del límite superior del Villafranquiense en Europa.

Los métodos de datación del Cuaternario, sean los radiactivos, sean los derivados del análisis polínico, de la orientación de los cantos de las morrenas o el más moderno del cálculo de la vida media de moluscos o de mamíferos de la época, parecen tender al establecimiento de un criterio más restrictivo en cuanto a la duración del Villafranquiense. Estos cálculos obligan a repartir de manera más homogénea las duraciones de los períodos integrados dentro del Cuaternario en referencia a las di-

versas alternancias glaciares y a las épocas preglaciares del mismo.

Sin embargo, hasta ahora muchos han sido los autores que han considerado que el Villafranquiense superior debía incluir el primer avance glacial alpino, o sea el Günz; sin pretender ser exhaustivos en una cuestión tan debatida, señalaremos los puntos de vista a este respecto de Venzo (1953), de Arambourg (1951), de Kretsoi (1953), de Shikama (1943), entre otros. En su tesis sobre el Villafranquiense de Villaroya y en su intento de correlación, por ejemplo, Villalta (1952) incluye también el Gunziense dentro del Villafranquiense superior.

Con un criterio todavía más extensivo se han pronunciado, por ejemplo, Azzaroli (1953) y Wad'a (1951), entre otros, para quienes el Villafranquiense más alto incluiría todavía el estadio interglacial Günz/Mindel. Y este fue el criterio del autor en su estudio monográfico de la fauna de Mestas de Cón, la cual, de todos modos, fue datada de manera precisa como del primer interglacial alpino.

Los dos criterios anteriores y singularmente el último, tenían su fundamento en la idea de la renovación faunística que se experimenta en Europa al final de este interglacial. En efecto, las formas arcaicas de tipo villafranquiense desaparecen de la escena europea, bien al final del Cromeriense, bien en el interstadial del Mindel, bien al final de este período glacial: *Homotherium*, *Elephas meridionalis*, *Alces latifrons*, *Cervus phil'si*, *Procamptoceras*, *Gazellospira*, *Leptobos etruscus*, *Dicerorhinus etruscus*, *Equus stenonis*. En el interglacial indicado, en cambio, empieza una floración de formas de tipo más modernizado, algunas de las cuales sobreviven a los recrudescimientos glaciares posteriores, mientras otras se extinguen. Sea, pues, que se tome la última presencia

de formas arcaizantes o la primera aparición de tipos modernizados, el criterio a seguir habrá de ser d'spar.

Sin embargo, en los últimos tiempos, parece tenderse, según se ha dicho, a un criterio aún más restrictivo que los indicados más arriba. La idea de que el Villafranquiense, aún en su tope máximo, no debe alcanzar la glaciación gunziense, se establece ya en varios autores y parece ser la primitiva concepción de Zinner. Debemos señalar los trabajos de West y Donner (1956), basados en el estudio de la orientación de los cantos procedentes de las formaciones morrénicas inglesas; el de Heller sobre la fauna de Erpfingen (1958), y sobre todo los más recientes de Kurtén (1960), ya citados, en los que se aducen serias razones para la utilización de un criterio definitivamente restrictivo. Este autor ha establecido una curva de porcentajes de especies vivientes a través de la escala temporal del Cuaternario, la cual ha sido calificada por los datos obtenidos por la curva de radiación, la de la paleotemperatura de Emiliani (1958) y por los métodos radioactivos del C 14 y el potasio-argón.

De acuerdo con estos nuevos datos, la fauna de Mestas de Cón con un porcentaje (descontando ahora la causa de error derivada del pequeño número de especies de aquella asociación), que oscila entre el 12,5 por 100 y el 25 por 100 de especies recientes, debe entrar en un período inmediatamente postgunziense o en el pleno interglacial Günz/Mindel. Se trata, pues, tal como se había indicado, de una fauna típicamente cromeriense, que de acuerdo con la oscilación del porcentaje vendría casi a entrar en las concepciones antedichas del Günz=Villafranquiense superior, a las que hemos de añadir todavía la de Choubert, por lo que se refiere al estudio sobre el Cuaternario nordafricano (Choubert, 1957), o en todo caso, y de manera clara, a las de Azzaroli y Wad'a

del Günz/Mindel=Villafranquiense superior. Habida cuenta del paralelismo establecido, según parece de manera plausible entre el Calabriense marino y el Villafranquiense por muchos autores, téngase en cuenta la equivalencia que hacen Ruggieri y Selli (1950), entre su Calabriense II y el interglaciar Günz/Mindel.

Ya se ha dicho que Kurtén ha establecido el criterio de los porcentajes a base de las especies recientes halladas en orden creciente a través de los diversos estadios del Cuaternario. La curva obtenida, sin embargo, quizás llegaría a diferir de aquélla en que se tuvieran en cuenta no sólo las especies que llegan hasta la actualidad, sino los tipos aparecidos en los momentos cruciales de la renovación faunística operada al final del Günz/Mindel y que, aún sobreviviendo los avatares posteriores del glaciario, en su todo o en parte, se extinguieron antes del Holoceno. Esta es una sugerencia que quizá deba tenerse en cuenta para llegar a mayores precisiones en relación con el tópico que aquí se discute.

De acuerdo ahora con las estimaciones cronológicas llevadas a cabo por Kurtén (1960 *a*), valiéndose de sus estudios sobre la vida media y los datos suministrados por los métodos radioactivos, las tres fases del Villafranquiense, entendido con exclusión del Günz, es decir, el interior, medio y superior, tendrían una duración equitativa de doscientos mil años cada una. Con la concepción de incluir el Günziense, el Villafranquiense superior sería desproporcionado a la duración de las dos fases anteriores, por lo que el criterio así establecido por el paleontólogo finlandés parece preferible.

* * *

Atendidas, pues, las más modernas consignas sobre la cuestión, podemos concretar la existencia en España

de una fauna típicamente villafranquiense en Villaroya, la cual no sería de la base de este nivel, según el criterio primitivo establecido en la tesis de 1952, sino del Villafranquiense medio, sincrónico con el yacimiento de Saint-Vallier, en el Ródano, según los datos ya expuestos por el autor de este trabajo en una publicación inédita hasta el presente (Crusafont, 1958), que fue presentada en una reunión de la AEQUA en Barcelona.

Por el momento, las faunas cuaternarias españolas presentan un hiato considerable, pues después de la biota de Villaroya no encontramos sino las asociaciones de Llarena (Crusafont y Villalba, 1952), y Mestas de Cón (Crusafont, 1959) en Asturias, y probablemente las de Torralba (Soria) y Valverde de Calatrava, según opinión expuesta por nosotros en un trabajo también inédito (Crusafont, 1960), todas las cuales son atribuidas al Günz/Mindel, o sea, al llamado interglacial cromeriense.

Por lo que se refiere a la fauna de Mestas de Cón, insistimos en la posibilidad de ser la más antigua de todas las enunciadas en segundo término en esta nuestra relación de biotas cuaternarias de España. La presencia de una forma, atribuible al oso etrusco, parece darnos esta licitud. De esta manera se diría acercarse más al Günz que al Mindel. Las faunas del glaciario mindeliano, equivalente al Lowestoft inglés y al Elster alemán, son más modernizadas. Para Kurtén, el primer interglaciar alpino señalaría de manera muy amplia en el viejo Continente el relevo de la *Hyaena brevirostris* por la *Crocota crocuta*. Este es un dato negativo en nuestra asociación, pues en ella no se ha hallado por el momento ningún resto de Hiénido.

La presencia de un caballo de tipo moderno, atribuido con dudas al *E. sussebornensis* Wust, no invalida la edad cromeriense de Mestas de Cón, dado que en esta

época coexisten los tipos modernizados con la especie arcaica. *E. stenorhis*. Por lo demás, Sussebron, así como Voigtstedt, Hundesheim y Erpfinger son considerados como de la misma época que el yacimiento asturiano. Sin embargo, Kurtén tiende a modernizar el yacimiento de Susseborn, al que considera como del Mindel I. El caballo de Mestas de Cón, por otro lado, podría ser un tipo algo más arcaico dentro del grupo de los Equidos pleistocénicos de la «formenkreis» del *E. caballus*.

Como forma moderna señalada con una cierta seguridad de la biota aquí considerada, sólo queda establecido el corzo, pues el Gervido de tipo eláfido del yacimiento bien pudiera ser atribuido, con la posesión de mejores elementos de juicio, al *Cervus acoronatus* Beninde, del ya citado yacimiento de Voigtstedt.

Para finalizar integramos en la presente nota la última de las estimaciones cronológicas realizadas sobre los períodos últimos de la historia de la Tierra, según los datos ya indicados de Kurtén (1960 a), y en la que señalamos con asterisco los dos tipos de faunas cuaternarias más antiguas de España:

Edad en años

Eeemiense (interglacial)	120.000
Hoelsteiniense (interglacial)	230.000
*Cromeriense (interglacial)	480.000
Tigliense (interglacial)	600.000
Villafranquiense superior	700.000
*Villafranquiense medio	900.000
Villafranquiense inferior	1.100.000
Límite Plio-Pleistoceno	1.300.000
Astiense-Plasenciense	1.600.000

Terminamos este trabajo expresando nuestra más profunda gratitud a nuestro ilustre colega y amigo el Dr. Kurtén, con quien hemos departido sobre esta interesante cuestión del límite superior del Villafranquiense.

Junio de 1960.

*Sección de Paleontología
Museo de Sabadell*

BIBLIOGRAFÍA

- The Pliocene-Pleistocene Boundary*. Proc. of the Sect. H. Part IX, International Geological Congress, Great Britain, 1948. London, 1948.
- ARAMBOURG, C.: *Les limites et les corrélations du Quaternaire africain*. Proc. of the Sect. K. Part XI. XVIII International Geological Congress. Great Britain, 1948. London, 1951.
- AZZAROLI, A.: *The Deer of the Weybourn Crag and Forest Bed of Norfolk*. «Bull. British Mus. (Nat. Hist.) Geol.», vol. 2, núm. 2. London, 1953.
- CRUSAFONT PAIRÓ, M.: *Nuevos datos sobre los Mamíferos del Villafranquiense de Lillaroya*, presentado en «AEQUA», Barcelona, 1959 (en prensa).
- — *El yacimiento de mamíferos del Villafranquiense superior de Mestas de Cón (Asturias)*. «Speleon», año X, núms. 3-4, Oviedo, 1959.
- — *Les gisements de mammifères du Quaternaire espagnol (Essai de synthèse)*. En prensa.
- CHOUBERT, G.: *Essai de corrélation entre les cycles marins et continentaux du Pleistocène au Maroc*. «C. R. Acad. Sciences», t. 245, París, 1957.
- EMILIANI, C.: *Ancient Temperatures*, «Scienc. Americ», february 1958.
- HELLER, F.: *Eine neue altquartäre Wirbeltierfauna von Erpfingen (Schwäbische Alb)*. «Neues Jb. Geol. u. Palaont», Abh. 107, Stuttgart, 1958.
- KRETSOL, N.: *Quaternary Geology and the Vertebrate Fauna*. «Acta Geologica», t. II, fasc. 1-2, Budapest, 1953.
- KURTÉN, B.: *Mammal migrations, Cenozoic Stratigraphy, and the Age of Peking Man and the Australopithecines*, «Journ. Pal.», vol. 81, número 1, 1957.
- — *Faunal turnover dates for the Pleistocene and Late Pliocene*, «Soc. Sci. Fen. Comm. Biol.», XXII, 5, Helsingfors, 1960 (a).
- — *The Age of the Australopithecines*, «Acta Univ. Stock. Cont. in Geol.», v. VI, 2, Stockholm, 1960 (b).
- RUGGERI, G. e SELLI, R.: *Il Pliocene e il Postpliocene dell'Emilia*. Proc. Sect. H. Part. IX. International Geol. Congress. London, 1950.

- SHIKAMA, T.: *Pleistocene problems in Japan and vicinity, some tentative considerations in Paleomammalogy*, «Bull. Cent. Nat. Mus. Manch», Hsinking, 1943.
- VENZO, S.: *Stadi della glaciazione del Donau... IV Congres INQUA*, Roma, 1953.
- VILLALTA, J. F. de: *Contribución al conocimiento de la fauna de mamíferos fósiles del Plioceno de Villaroya (Logroño)*, «Bol. Inst. Geol. y Min. de Esp.», t. LXVI, Madrid, 1952.
- WADIA, D. N. *The transitional passage of Pliocene into the Pleistocene in the North-western Sub-Himalayas*. Proc. of Sect. K. Part. XI. International Geological Congresses. London, 1951.
- WEST, R. G. and DONNER, J. J.: *The Glaciations of East Anglia and the East Midlands: A differentiation based on stow-orientation measurements of the Tillis*, «Quat Journ. Geol. Soc.», London, 1956.

ISIDRO PARGA PONDAL

OBSERVACION, INTERPRETACION
Y PROBLEMAS GEOLOGICOS DE GALICIA

I. OBSERVACIÓN E INTERPRETACIÓN EN GEOLOGÍA

Sería para mí en este momento motivo de gran satisfacción poder ofrecer un cuadro acabado, transparente, sin manchas ni veladuras, que sintetizase una imagen concreta, y una clara interpretación de la Geología de Galicia.

Y este deseo, como se verá imposible de realizar, es para mí tanto más punzante, cuanto que llevo dedicado a la observación geológica de Galicia bastante más de la mitad de mi vida.

Pero conforme pasan los días y los años, y se acumulan en mis archivos y ficheros, y en los cajones y estantes de mi museo, las observaciones, notas, interpretaciones, y muestras de estructuras, piedras, rocas y minerales, que recojo por todos los rincones gallegos, más aumenta en mi pensamiento la **duda y la confusión**, y cada día veo más alejado el momento en que podamos disponer de una sencilla interpretación del conjunto estructural de la geología gallega.

Y es que contrariamente a lo que podría parecer a primera vista, cuantas más observaciones geológicas se hacen, hasta un cierto grado, claro está, más lejos se halla uno de poder explicar satisfactoriamente nuestro cuadro geológico.

Este hecho al parecer contradictorio tiene su origen en la gran complejidad geológica del país y en el relativamente pequeño número de buenas observaciones que pueden realizarse a lo largo de extensas superficies, que en general permanecen ocultas por terrenos recientes, pero también es debido a la naturaleza propia de lo que llamamos observación y a la dificultad que lleva en sí misma, la exacta interpretación del hecho geológico observado.

Al tratar de hacer geología en Galicia nos encontramos en efecto con que las observaciones que podemos realizar se hallan forzosamente más distanciadas de lo conveniente, pues los terrenos suelen estar cubiertos por la vegetación espontánea, por las tierras de labor, o por derrubios recientes.

En estas condiciones la dificultad de interpretación de las esporádicas observaciones realizadas llega al máximo, y nos encontramos como ante un complicado rompecabezas al que faltaran piezas, pero que es forzoso resolver si queremos elaborar un mapa regional y construir un esquema interpretativo.

Es evidente que para poder interpretar correctamente es necesario disponer de datos de observación precisos y en una determinada densidad, función de la escala de nuestra representación. Observar... Interpretar...; he aquí el problema. Observar es mirar y considerar con sentido escrutador, un hecho, un fenómeno, o en general, en nuestro caso, una determinada estructura geológica.

Interpretar es aplicar nuestra razón para tratar de comprender y explicar lo que hemos observado. Pero en la realidad la observación y la interpretación van indisolublemente unidas y es verdaderamente difícil, yo diría imposible, poder delimitar dónde termina la des-

cripción de una observación geológica y dónde comienza un ensayo de su interpretación.

Dos son, pues, las dificultades que se nos presentan. En primer lugar, gran densidad de observaciones. ¿Cuándo podemos estar seguros de disponer de datos precisos y suficientes?; y en segundo lugar, no es fácil comprender lo que deseamos expresar por interpretación correcta cuando nos referimos a problemas geológicos. Si toda interpretación lleva consigo una deformación del fenómeno o estructura compleja que quiere analizarse, y si esta deformación es a la vez subjetiva o como diría Rof Carballo, representa una proyección subconsciente de ideas confusas, que en nuestro caso serían las preexistentes en la mente del geólogo, es evidente que entonces nos encontramos, en este aspecto, ante una gravísima dificultad para llegar a disponer de una verdadera imagen de la realidad geológica de un país.

Son precisamente estas consideraciones las que nos hacen comprender y mirar con buenos ojos las infinitas teorías, muchas de las cuales hoy nos parecen absurdas, que la humana imaginación elaboró hasta llegar al conocimiento geológico actual.

Y deseo exponer ahora algunos ejemplos.

Es idea o creencia generalmente extendida entre los aldeanos gallegos y que yo he podido recoger en diferentes comarcas, que las piedras crecen de modo análogo a como lo pueden hacer las plantas. Sin duda esta idea tiene su origen en observaciones poco consistentes: creen ellos que si sacan las piedras de un terreno, vuelven a nacer otras en mayor cantidad, y por esta razón opinan que no deben retirarse.

Pero más sorprendente es encontrar esta opinión y creencia en nuestro gran Padre Feijóo, quien en su

discurso XV, que titula «Solución del gran problema histórico sobre la población de la América y Revoluciones del orbe terráqueo», expone su particular opinión de que las «piedras crecen y se van aumentando a mayor mole», y aclara que este crecimiento se verifica «per intus sumptionem», o sea, en «virtud de un jugo que chupa la peña de la tierra donde está como radicada, el cual, dice, difundiéndose por toda ella la nutre y aumenta»; y aún añade: «Parece, pues, que en cuanto a esto hay una perfecta analogía entre las plantas y piedras, observándose», fijarse bien dice observándose, «que así éstas como aquéllas, no nacen ni crecen sino dentro de su matriz, donde reciben jugo proporcionado para su alimento; y separadas de ella, cesa o se extingue, en unas y otras, la facultad de aumentarse».

Estos puntos de vista del Padre Feijóo son evidente consecuencia de lo que venimos exponiendo; pocas observaciones e interpretación subjetiva subconsciente dominada por el deseo que sentía de buscar una explicación al paso de los primeros pobladores a América.

Y, sin embargo, estas ideas, como en general todas las que surgen del espíritu humano, tienen una razón de ser, están basadas en alguna observación. Lo fundamental es, como vamos a ver, que el número de observaciones sea suficiente.

En la primera obra de Geología descriptiva, publicada en Madrid en 1802, titulada «Descripción Geognóstica de las rocas que componen la parte sólida del Globo Terrestre», de la que es autor el primer catedrático del Real Estudio de Mineralogía de Madrid, don Cristino Hergen, dice este gran maestro: «Mucho tiempo ha que el hombre se ocupa más bien en reflexiones sobre el origen y la formación de las cosas, que en examinar con exactitud sus relaciones actuales. De ahí nace

nuestra pobreza de observaciones sólidas sobre posición y estratificación de las montañas, sobre su identidad con países remotos y sobre afinidades geognósticas en general. De ahí la abundancia de suposiciones cosmogónicas y de explicaciones de unos fenómenos que sólo existen en la imaginación de los observadores».

«La Ciencia se ha enriquecido hasta ahora con una multitud de opiniones y con muy pocos hechos.»

Estas reflexiones de Hergen, que en cierto modo podríamos repetir aún hoy día, tenían su origen en el gran número de teorías que durante el siglo XVIII fueron emitidas sobre la constitución de la tierra, y que pueden verse resumidas, por ejemplo, en la conocida obra de Buffon.

Pero también aquí en España existían pensadores que basados solamente en las pocas observaciones entonces disponibles, intentaron establecer teorías generales de tipo geognóstico.

Y yo deseo recordar a este respecto y como curioso ejemplo, aquella teoría sobre «Génesis o remoto origen de los meteoros, fuentes minerales y metales», que en el capítulo titulado «Reflexión Físico-Química sobre el Reyno Mineral» publicó en su «Florilegio Theorico práctico.—Nuevo curso químico», don Joseph Assin Palacios de Angoz, Boticario general del Antiguo colegio de la ciudad de Zaragoza, en la segunda edición de 1712, dedicada al Protomedicato de Madrid. Esta teoría es la siguiente que copio literalmente: «El principal origen de los metales, tiene más profunda inquisición: pues suponiendo el movimiento circular de las aguas en el Globo acuotérreo del Universo, el ingreso de ellas por un Polo al centro de la tierra y la vehemente violenta fermentación de sus átomos en dicho centro, al impulso del calor subterráneo y como primer causa a la

agilidad de la materia sutil, particular del primer elemento que mueve todos los demás átomos; parte de las aguas fermentadas salen por el contrapuesto Polo al inmenso piélago de los mares; parte de sus cristales, al impulso fermentativo en hálitos y vapores elevados, forma en el vago cuerpo del aire los meteoros acuos; parte son condensados en la superficie porosa de la tierra, recibidos en ella, y como en naturales proporcionadas alquitaras, coagulándose forman las fuentes, y, últimamente, parte de estos acuos vapores, o hálitos, con alguna específica metálica impresión, en los poros o matrices dispuestas de la tierra, corporificándose, forman las minas y en su centro los metales».

Esta teoría, que hoy nos parece descabellada, era sin duda, fruto de múltiples, aunque insuficientes observaciones y su complicada elaboración no era más que una razonada interpretación de las mismas.

No debe, pues, sorprendernos que en su excelente obra titulada «Elementos de Agricultura», publicada en La Coruña, en 1836, el cura párroco de San Vicente de Vigo, don Manuel Boedo Cardois, después de mostrarse como un magnífico observador, pues, para afirmarlo, basta su justa apreciación basada naturalmente en ensayos analíticos y hecha por primera vez en Galicia, de que las tierras de los alrededores de La Coruña no contenían caliza y que por ello debía añadirse cal a los terrenos, termine su obra tan científicamente empezada, con unas reflexiones sobre motivos agrícolas, que lo llevan a establecer una teoría de la evolución de la superficie terrestre, basada sin duda en observaciones directas, pero interpretadas bajo la influencia de ideas pre-existentes en su mente de formación originalmente humanística. Y así, este magnífico observador de la Naturaleza y maravillosamente dotado para estudios de esta índole,

cae en un exceso de interpretación que perjudicó grandemente al concepto que de él tuvieron sus contemporáneos.

Yo deseo con esta breve cita, dedicar un recuerdo a este gran gallego, atento observador de la naturaleza, el cura Boedo, cuyas ideas, e intentos de mecanización de las faenas agrícolas, al adelantarse a su época cayeron en el vacío.

Nada más lejos de mi intención tratar de desmerecer y disminuir la eficacia de las hipótesis en el progreso científico, cuya evidencia está fuera de toda duda. Mi deseo se limita únicamente a señalar el cuidado que debemos poner en todo ensayo interpretativo y no llevarlo nunca más allá de lo que la densidad de las observaciones permita. Naturalmente, me refiero de una manera concreta a la investigación geológica aplicada a Galicia.

Como dice don Agustín Marín, ilustre geólogo, en su discurso de contestación a Sampelayo en su ingreso en la Academia de Ciencias: «Aunque a la geología y a la tectónica prestan su valiosa cooperación las otras ciencias naturales, las físico-químicas, y empiezan a hacerlo las matemáticas, es la verdad que interviene en mucho la imaginación en la interpretación de los resultados de la observación geológica. Estos no son cifras ni pensamientos fijos e inmutables, sino que a su vez dependen de nuevas series de interpretaciones».

Podemos, pues, concluir que el proceso seguido constantemente en la historia de la ciencia, es el único posible. Después de disponer de un cierto número de observaciones, tratar de interpretar sus resultados y a la vista de esta interpretación volver a observar... para continuar *ad infinitum*, el proceso interpretativo.

Es, pues, evidente que mientras podamos hacer observaciones no se podrá dar por terminada, o mejor por

aceptada, cualquier interpretación de una estructura o de un proceso, pues siempre podrá ser mejorada con nuevas observaciones. No obstante, el buen sentido de cada investigador debe ser el que determine el momento más oportuno para establecer una fructífera interpretación.

Un ensayo de interpretación prematuro, cuando es confirmado posteriormente, se denomina intuición, y si además de prematuro es atrevido, lo llamamos intuición genial. En caso contrario, no pasa de ser una teoría más, en el desarrollo científico del conocimiento.

Mi objeto con estas consideraciones ha sido únicamente llamar la atención sobre la dificultad que ofrece toda observación geológica y de lo peligroso de su interpretación, sobre todo cuando ésta se realiza prematuramente, o sea sin disponer de suficiente número de observaciones.

No obstante, es evidente que aun en este caso, no debe abandonarse el ensayo interpretativo, el cual debe de intentarse aun a riesgo de una posible y total rectificación.

En este caso nos encontramos al tratar de interpretar actualmente la estructura geológica de Galicia.

Yo espero que el ensayo de interpretación que voy a ofrecer a continuación del actual estado de algunos problemas de la geología gallega, pueda incitar a futuros geólogos a realizar nuevas observaciones e investigaciones que contribuirán al progreso de nuestro conocimiento.

II. PROBLEMAS GEOLÓGICOS DE GALICIA

Parece claro en un comienzo, que no existiendo fundamentalmente en Galicia más que dos categorías de ro-

cas, granitos y esquistos, se podría llegar, mediante su representación cartográfica, a tener en poco tiempo una imagen bastante exacta de la realidad geológica.

Pero sucede que al aumentar las observaciones pronto nos damos cuenta de que tanto dentro de los granitos como dentro de los esquistos se encuentran numerosísimos tipos que difieren no sólo por su composición petrográfica o geoquímica, que en último término podrían interpretarse, para los granitos, como variaciones de una diferenciación magmática o de un proceso metasomático, y para los esquistos por diferentes condiciones en el metamorfismo de una serie de sedimentos, sino que estas variaciones y diferencias son sin duda más profundas, vemos que en algunos casos afectan a problemas genéticos, y pronto comprendemos que debemos buscar su origen en causas más complejas. Diferentes orogenias y diferentes grados de metamorfismo actuando sobre rocas de diferentes ciclos sedimentarios.

Y a esta complejidad que comenzamos a vislumbrar, debe añadirse una intensísima acción geotectónica que trastocó profundísimamente y durante épocas muy diversas, las primitivas estructuras.

Si se analiza, en efecto, la estructura geológica gallega, vemos que está muy lejos de presentar una sencilla uniformidad, tal como podría deducirse de la lectura de los escritos de algunos de los geólogos que se ocuparon de nuestra tierra.

Si tratamos, por ejemplo, de establecer el sentido del plegamiento que afectó a todo el conjunto sedimentario gallego, vemos que al multiplicarse las observaciones, el sencillo esquema estructural, que en un primer momento habíamos elaborado, ya no puede defenderse y hay que admitir varios ejes de plegamiento con variadas vergencias y buzamientos axiales.

Por estas razones vuelven a recobrar actualidad y no pueden abandonarse las concepciones de los primeros geólogos, Macpherson, etc., que trataron de la geotectónica del N.-O. peninsular, y en cambio deben ser considerados con cierta reserva los puntos de vista más modernos, Carlé, etc., que no admiten más que la orogenia variscica, actuando sobre sedimentos paleozoicos.

En lo que sigue voy a concretarme en mis consideraciones a la zona occidental gallega, en la que dominan granitos, rocas básicas y los esquistos más metamórficos, pues es en ella donde mis observaciones han sido más numerosas. Por otra parte, la zona oriental más pizarrosa ha sido objeto de estudios más detallados por parte del ilustre geólogo don Primitivo Hernández-Sampelayo.

El occidente gallego es sin duda la parte donde la complejidad alcanza el mayor grado y donde, por lo tanto, las observaciones deben ser interpretadas con mayor cuidado.

Recuerdo a este respecto que, en un cambio de impresiones sobre estos problemas, me decía un eminente geólogo, gran conocedor de nuestro paleozoico: «No trate usted de buscar ordenación alguna en la confusa disposición de las rocas del Occidente; allí los granitos y las pizarras están tan mezcladas, que todo intento parece inútil».

Y es que esta idea, de una gran confusión en la disposición geológica del occidente gallego, dominaba el ánimo de los investigadores de la geología gallega desde la época del primer geólogo de Galicia, don Guillermo Schulz.

Al referirse Schulz, a la disposición de las principales formaciones gallegas, decía lo siguiente en su conocida obra: «Después de haber referido las principales rocas

que constituyen el suelo primitivo de Galicia, será oportuno decir algo sobre la situación respectiva de estas rocas o la estructura y el aspecto general del terreno primitivo. Superposición, como antiguamente se creía, no parece haber en estas rocas; al menos no se ciñe a orden ni regla alguna».

«El granito, el gneis, la micacita, las rocas cloritosas y el antibolito, son las que se hallan en mayor extensión, alternando unas con otras sin guardar orden ni superposición.»

Y después de citar numerosos ejemplos, bien observados por él en sus excursiones, continúa:

«Estos pocos datos bastan para demostrar que no hay un orden constante de superposición entre las diferentes rocas primitivas de Galicia.»

Posteriormente, fué Macpherson quien en una visión de conjunto de todas las rocas arcaicas de la Península Ibérica, intentó establecer una rigurosa sucesión entre gneises, micacitas y rocas verdes. Macpherson fué un magnífico petrógrafo, pero como estratígrafo sus observaciones insuficientes en este terreno arcaico no le permitieron ver claramente, y su interpretación debe sufrir todavía profundas modificaciones.

a) *La faja de esquistos arcillosos de El Barquero-Baamonde*

Vamos a considerar, por ejemplo, un problema bien planteado por Schulz, sobre esas cuestiones.

«Si la superposición sola decidiese —expone Schulz—, sobre la edad relativa de los terrenos, debiéramos contar como roca primitiva una pizarra arcillosa negruzca que forma una gran faja en el terreno primitivo desde la cos-

ta de Santa Marta y del Barquero hasta más al sur de Vaamonde».

Y después de describirla con gran exactitud, afirma:

«Queda, pues, sin decidir si esta faja es primitiva o de transición.»

Todavía hoy, después de pasar 125 años de de las observaciones de Schulz, la interpretación estratigráfica de esta faja pizarrosa que tanto inquietó a nuestro primer geólogo, continúa siendo uno de los problemas fundamentales de la geología gallega.

Ante ella dudaba Sampelayo, para quien era de suma importancia su clasificación, y ante ella nos detenemos actualmente al pretender hacer una síntesis general.

La solución no creo que tarde mucho tiempo.

Los problemas que encierra, tanto por su aspecto poco metamórfico, como por su intrincada y compleja estructura, terminarán, sin duda, aclarándose gracias a la más precisa cartografía que de ella hemos levantado y sobre todo gracias al análisis estructural minucioso que se le está aplicando, tanto en su parte norte por estudiantes alemanes de la Universidad de Munster, bajo la dirección del profesor Lotze, tan buen conocedor de las estructuras del paleozoico antiguo peninsular, como en su zona central a la altura de Guntin, por geólogos ingleses de la Universidad de Liverpool, bajo la dirección del profesor doctor Shakleton.

El hecho de que no se encuentren en ella los fósiles característicos del Paleozoico a pesar de existir en esta faja abundantes zonas muy carbonosas, poco metamorfizadas, sin grandes deformaciones y en las que se descubren aglomeraciones ricas en carbono que pudieran corresponder a huellas de organismos o colonias de organismos muy primitivos, posiblemente algónkicos, como los hallados cerca de Guntin por el geólogo inglés Alexander

Sergiadés, según comunicación verbal que agradezco, me inclinan cada vez más a considerar esta formación como precámbrica.

Cualquier otra solución implicaría bastantes dificultades para una interpretación de la Geología gallega, y en general de todo el N.-O. peninsular, según voy a tratar de explicar, presentando otro de los más interesantes problemas de nuestra Geología.

b) *La banda de esquistos glandulares denominada «Olla de Sapo»*

Limitando por el Este toda la extensa formación de granitos, rocas básicas, esquistos y migmatitas que forman exclusivamente el occidente y sur de Galicia, o sea las provincias de La Coruña y Pontevedra, la parte occidental de Lugo y el sur de Orense, se desarrolla una larga y estrecha formación geológica constituida por una roca esquistosa, porfiroide, con grandes feldespatos glandulares muy frecuentes, y con típicos granos de cuarzo aplastados que destacan visiblemente en la matriz micácica o de sustancia arcillosa fuertemente metamorfizada.

La estructura de esta formación porfiroide indica que tiene un origen clástico, sedimentario, y que posteriormente fué sometida a intensas presiones tangenciales, que originaron fricciones y resbalamientos internos, consecuencia de importantes acciones tectónicas que la metamorfizaron y milonitizaron en ciertas zonas, de modo muy intenso.

Esta formación puede seguirse sobre el terreno casi sin solución de continuidad, en una longitud de más de 220 kilómetros, desde la isla Coelleira, al nordeste de la Ría del Barquero, todo por el este de la Serra Fala-

dora, Puentes de G.^a Rez., río de Fray Bermuz, Serra da Loba, este de Palas de Rey, Monterroso y Chantada, sur de Monforte y norte de Castro Caldelas, sur de Larouco y norte del Bollo, para pasar a la provincia de Zamora, donde adquiere enorme desarrollo al norte de Sanabria y por Mombuey, hasta ocultarse debajo de los depósitos terciarios de la meseta castellana, entre Zamora y Benavente; y aún posiblemente aparece de nuevo, cual un pétreo Guadiana, en las sierras centrales al norte de Hiendelaencina, en el ángulo noroeste de la provincia de Guadalajara.

Esta, a mi juicio interesantísima e importante formación geológica no ha sido, hasta ahora, descrita en su conjunto y se da, en este momento y por primera vez, noticia de su amplio desarrollo.

Fué mencionada petrográficamente por Sampelayo en la isla Coelleira y en Bermuy, y la denominó Olló de Sapo, nombre muy significativo, con el que la distinguen de otras rocas los habitantes del país y con el que creo conveniente denominarla en el futuro.

Yo he podido seguir, casi paso a paso, este Olló de Sapo por todos los lugares mencionados antes, y he podido comprobar que su continuidad solamente queda interrumpida cuando es interceptada por la intrusión de algunos plutones discordantes de granito postectónico, o también por hallarse desplazada por despegues tectónicos importantes, como por ejemplo en la gran fosa terciaria de Monforte.

También he podido observar que su potencia o espesor es bastante variable. En el Norte, cuando sirve de divisoria entre las provincias de Lugo y La Coruña, tiene más de siete kilómetros de ancho. Luego, por el centro de Galicia, entre el sur de Friol y el norte de Escairón, apenas alcanza los dos kilómetros. Ya al sureste de Mon-

forte vuelve a ser más potente, y al norte de Sanabria y en Mombuey su anchura pasa de los veinte kilómetros, desde Quintanilla de Justel, donde he podido estudiar su contacto con los esquistos arcillosos, hasta Villardeciervos (Zamora), donde se pone en contacto con las formaciones de cuarcitas de la sierra de La Culebra.

El profesor Lotze se refiere sólo de pasada a esta formación, que dice han visto por Sanabria y cree debe extenderse al sur del Barco de Valdeorras, la denomina formación porfiroide, considera que podría ser de edad algonkica, o sea precámbrica, y dice es una formación típica, que sin duda constituirá un horizonte guía, de gran valor geológico.

A mi modo de ver, la posición estratigráfica de este Olló de Sapo es precisamente uno de los puntos más importantes de la geología gallega.

La impresión que se recoge al seguirla en toda su extensión es que se halla geológicamente superpuesta, de modo concordante, a la gran faja de pizarras carbonosas a que antes nos hemos referido, y cuya clasificación estratigráfica tanto hizo dudar a Schulz y a Sampelayo.

Si esta posición se confirmase y para ello deben hacerse aún algunas observaciones sobre el terreno, tendríamos que el Olló de Sapo debía considerarse más moderno que la discutida faja pizarrosa a pesar de su metamorfismo aparentemente más intenso y de su fuerte deformación tectónica, hechos que podrían explicarse por su composición clástica originaria.

Las consecuencias que pueden deducirse de estas consideraciones, son a nuestro modo de ver, de fundamental importancia para la geología de Galicia, pues además de asegurarnos la datación precámbrica de los sedimentos que hoy constituyen las formaciones esquistó-

sas del occidente gallego, nos permitiría desarrollar determinadas ideas sobre la génesis y evolución del gran complejo de rocas graníticas y esquistosas que desde hace ya algún tiempo vengo denominando Grupo de Lage.

Yo espero, pues, que el estudio pormenorizado de la formación del Olló de Sapo no se retrase, y para ello tengo intención de dedicarle mi atención inmediata.

Me induce a ello, con fuerza irresistible, la convicción que tengo de la existencia de una estrecha relación, como acabo de indicar, entre la formación porfiroide y el granito gneísico de Lage, cuya génesis constituye otro de los problemas fundamentales de la geología gallega y del que voy a ocuparme a continuación con algún detalle.

c) *La formación de granitos y esquistos migmatíticos, denominada «Grupo de Lage»*

Fué Guillermo Schulz el primero que distinguió en Galicia la presencia de granitos gneísicos que se extienden por la costa de Niñones, formando los montes de Nariga, Corme y Lage, y cuya presencia puede también comprobarse por otros lugares de Galicia.

Posteriormente y ya en mis primeros ensayos sobre geología gallega, amplié este concepto de Schulz en lo que denominé formación del Grupo de Lage.

Grupo constituido por una asociación de rocas orientadas, graníticas, gneísicas, glandulares y esquistosas, que en su conjunto se hallan muy tectonizadas y en parte milonitizadas, y que posteriormente han sufrido parcialmente un intenso proceso de migmatización. A este complejo cuadro debe añadirse todavía, pero probablemente en época bastante posterior, una acción me-

tasomática de gran envergadura, que reformó la antigua estructura.

Todo induce, en efecto, a pensar que se trata de una antigua formación sedimentaria, de época precámbrica, que fué sometida posteriormente a los procesos mencionados. Así, la composición química de los granitos gneísicos y glandulares, con gran exceso de alúmina, y la lógica presencia de minerales aluminosos, como silimanita en los granitos y de granates y distena en los esquistos, apoyan este origen sedimentario de toda la formación.

Muy posiblemente esta formación de Lage debió de extenderse en su origen por todo el ámbito de la que hoy es la Galicia occidental, y seguramente se continuaba hacia el Noroeste, formando un extenso continente en lo que hoy está ocupado en esta parte por el Atlántico.

Si hoy solamente puede comprobarse su presencia en algunas regiones del Noroeste peninsular es debido, según mi modo de ver, a la reorganización que sufrió su estructura mediante un proceso palingénico de regeneración granítica que, borrando la antigua orientación, dió origen a nuevas estructuras más uniformes.

La idea de que el origen de las rocas del Grupo de Lage es debido a los intensos metamorfismos y acción tectónica dirigida, que sufrieron los sedimentos contemporáneos del Olló de Sapo, surgió en mi mente como consecuencia de las observaciones que he realizado en la zona comprendida entre Vivero y el Barquero, donde creo se puede comprobar el paso insensible desde el típico Olló de Sapo, a través de una facies arenosa feldespática, hasta el verdadero tipo de granito gneísico de Lage.

Es evidente que todo este conjunto de rocas estuvo situado, durante los primeros estadios de la orogenia

herciniana, a grandes profundidades geosinclinales, y ello tuvo por consecuencia la migmatización y granitización a que me he referido.

Esta granitización es la que originó las extensas áreas de granitos, palingénicos, sintectónicos generalmente de dos micas, y de grano variado, atravesados por abundantes pegmatitas que ocupan enorme extensión en las provincias de Pontevedra y Orense.

Una forma más moderna de estos granitos extravasados, por significar su emplazamiento postectónico a niveles más altos en las formaciones geosinclinales, son los granitos claramente discordantes, generalmente biotíticos, de los que me he ocupado varias veces y que tanto llaman la atención por dar lugar a los típicos paisajes graníticos de grandes penedos redondeados.

Estos macizos graníticos postectónicos, son, pues, formas superimpuestas a la estructura fundamental de la geología gallega. Al tratar de reconstruir esta primitiva estructura debemos saber prescindir de estos plutones discordantes.

Hecha esta abstracción, aparece mucho más clara la continuidad de las antiguas formaciones del Grupo de Lage, afectadas por la regeneración granítica, sintectónica de la orogénia herciniana, y podemos analizar estas acciones, liberadas de hechos posteriores que las enmascaran, logrando así un cuadro representativo más ajustado a la realidad.

d) *La formación de gneises y esquistos polimetamórficos denominada «Complejo Antiguo»*

Pero el Grupo de Lage no representa, a mi modo de ver, la más antigua estructura geológica de Galicia.

Hace ya algunos años observé que las rocas que constituyen los montes de Borneiro, situados a unos seis kilómetros al S.-E. de Lage presentan, en su aspecto gneísico, una facies totalmente distinta del granito gneísico de Lage.

Observaciones posteriores me hicieron comprender que los gneises de Borneiro forman parte de un conjunto o complejo de rocas: granitos, gneises y esquistos, en general muy variado, pero que se distinguen claramente por su aspecto de las rocas del Grupo de Lage.

Su diferencia fundamental es el alto metamorfismo de que todas están afectadas, caracterizado por una ordenación lineal de sus componentes minerales, lineación que está ausente en el Grupo de Lage. Presentan también una deformación ultramilonítica que afecta a todas las rocas del complejo y que juntamente con una intensa cataclasis y recristalización, le dan a estas rocas su aspecto tan especial.

Otra característica que afecta a todo el ámbito de este Complejo petrográfico es la frecuente intrusión de rocas básicas en forma de filones, o grandes lentejones, en general concordantes, también profundamente metamorfizados y transformados en anfibolitas y eclogitas, que tampoco se encuentran en el Grupo de Lage.

Desde el primer momento consideré a este complejo de rocas como más antiguo que el Grupo de Lage y por ello lo denominé «El complejo Antiguo», nombre con el que hoy se le designa en la literatura geológica gallega.

Ampliando en años sucesivos mis observaciones, pude comprobar que las rocas del Complejo Antiguo se extienden desde la costa de Malpica hasta la ría de Arosa, en Rianjo, formando una estrecha banda de unos seis

kilómetros de espesor, que está flanqueada en ambos lados por rocas del Grupo de Lage.

Investigaciones posteriores me hicieron ver que también en otras zonas de la Galicia occidental se encuentran rocas análogas, que se presentan siempre con las mismas características ya citadas. Así, por ejemplo, entre Vigo y Redondela, entre Silleda y Lalin, al oeste de La Estrada, y probablemente deben también incluirse en este grupo los esquistos biotíticos de Betanzos y los gneises de Cerdido y La Capelada.

Es evidente, pues, que las rocas del Complejo Antiguo constituyen una unidad geológica de características bien definidas, cuya edad es muy posiblemente anterior a todas las otras rocas gallegas.

La roca más característica de esta formación es el gneis de Borneiro, o sea, un gneis biotítico frecuentemente glandular por sus feldespatos, que bien podría considerarse como un granito sintectónico. Muchas veces presenta además el aspecto de un granito discordante, como ocurre en Penedo, cerca de Zás y en Allones, en donde se observa una aureola de contacto térmico. Otras rocas son gneises de grano fino, esquistos gneísicos, esquistos micáceos, que siempre presentan la mencionada lineación casi N.-S. concordante.

Otras rocas características de este Complejo Antiguo son los gneises de riebeckita y de ferrohastingsita, que aunque discordantes con relación a todas las demás rocas del Complejo, nunca penetran las rocas del Grupo de Lage.

Estas rocas de anfíboles alcalinos son, sin duda, las más interesantes de toda Galicia, en primer lugar por su gran rareza petrográfica, pues no se conocen otras análogas en toda la Península Ibérica, más que en Campo Maior, (Alentejo, Portugal), y en segundo lugar por

su posición ya mencionada, formando parte únicamente del Complejo Antiguo y dentro de él emplazadas discordantemente en época claramente posterior a todas las demás de dicho Complejo.

El afloramiento más conocido en estas rocas de riebeckita es el de los montes del Galíneiro y La Guía, cerca de Vigo. Pero quizá es más importante el gran plutón anular de los montes de Corzón y Aro, en Mazaricos, que a pesar de su lineación concordante con las otras rocas del Complejo Antiguo, representan una intrusión claramente discordante. Otro importante afloramiento análogo es el de los gneises de ferrohastingsita de Silvarredonda, que se presenta con caracteres análogos.

El hecho de que estas rocas no penetran en el Grupo de Lage nos demuestra, sin duda, la mayor antigüedad de toda la formación geológica que constituye el Complejo Antiguo.

Otra prueba de la mayor antigüedad del Complejo, con relación a todas las rocas del Grupo de Lage, es su más intenso metamorfismo, observándose fenómenos de polimetamorfismo y de granitizaciones desconocidos en las otras rocas gallegas. También la intensa deformación tectónica con gran milonitización, cataclasis y recristalización que afectan a todas las estructuras, es prueba que corrobora las observaciones anteriores.

A pesar de todas estas consideraciones y del interés que hemos puesto en la observación de campo de este grupo de rocas, no nos ha sido posible hasta ahora, el poder hallar una prueba estratigráfica que demuestre la mayor antigüedad del Complejo Antiguo.

Los contactos de estas rocas con las del Grupo de Lage son difíciles de observar, y en general parecen ser de tipo anormal, tectónico, lo que impide obtener una relación directa.

No obstante, continuaremos nuestra labor y nuestras observaciones, y esperamos algún día poder hallar la discordancia estratigráfica que de modo indudable nos fije la edad relativa de este Complejo con relación al Grupo de Lage.

Se desprende lógicamente de todo lo expuesto que el grupo de rocas que forman el Complejo Antiguo constituye una unidad geológica independiente del Grupo de Lage.

La historia geológica debe, pues, ser también independiente, y por ello el Complejo Antiguo debe representar el ciclo sedimentario y orogénico más antiguo de Galicia. En él podemos ver, sucesivamente, sedimentación, plegamiento, orogénesis con granitos sintectónicos y postectónicos, intrusiones básicas y, finalmente, las rocas anorogénicas alcalinas de la fase cratónica de la antigua orogenia.

Por estas razones siempre defendí la hipótesis de la existencia de más de una orogenia en el ámbito geológico gallego.

e) *Otros problemas*

Sería mi deseo todavía tratar otros problemas de la geología gallega, como el del gran afloramiento lopolítico de rocas básicas, que con disposición anular se extienden por toda la provincia de La Coruña, pero ello me llevaría muy lejos. En otra ocasión espero poder desarrollar mis más recientes puntos de vista sobre este importante problema de nuestra geología.

Pero antes de terminar quisiera, aunque muy rápidamente, hacer un resumen de algunos pequeños problemas relacionados con nuestra geología, que varias veces ocuparon mi pensamiento, a los cuales he dedicado alguna atención e iniciado su estudio, y que espero algún día poder ofrecer más terminados.

2) *Grutas y cavernas*

Al que recorra las costas gallegas le llamará rápidamente la atención la gran cantidad de cuevas, grutas o furnas que en ella existen, y por donde el mar penetra a veces en gran profundidad bajo la tierra.

Estas furnas siempre llamaron la atención de la gente sencilla y también de los espíritus atraídos por lo misterioso. Tenemos en la literatura regional bellas historias de muchas de estas cavernas, como «La Buserana» de López Abente, y múltiples leyendas forman de ellas su motivo fundamental, así La Cueva del Fanfarrón, etcétera. Otro tipo de grutas son las que se originan en el interior, en los terrenos calizos, que a veces alcanzan dimensiones impresionantes y formas complicadas. Todos recordamos algunas famosas: As covas do Rei Centolo las no por menos interesantes, pero todavía poco conocidas, de Lóuzara, o las de Bermún, que hacen cambiar el curso de un río y cuyo estudio detallado sería de gran valor. También éstas se presentan a las leyendas de misterio que tan bien conoce Alvaro Cunqueiro.

Pues bien, el origen de estas grutas y furnas tiene siempre una importante significación geológica.

Las de la costa en terrenos graníticos y metamórficos son generalmente excavadas por el mar, según direcciones de gran debilidad tectónica en aquellos lugares donde se manifestaron en diferentes épocas geológicas las intensas presiones sufridas, dando lugar a planos de resbalamientos que ocasionaron la trituración de la roca en zonas que luego son fácilmente erosionadas por la acción del mar. O bien esta tectónica originó en una fase contraria, de descompresión, zonas que dieron lugar a fracturas y grietas que fueron ocupadas, en general, por

posteriores rellenos, bien magmáticos o bien de sedimentos, fácilmente erosionables.

Su estudio detallado aclarará, sin duda, muchos aspectos de la tectónica regional.

Otras cuevas y grutas, como la del Pico Sacro o la de las Choyas en el Incio, son probablemente debidas a diferentes causas, entre las cuales deben contarse las antiguas explotaciones mineras, pero no por ello son menos interesantes y todas necesitan un estudio detallado.

En mi fichero de grutas, cavernas, cuevas y furnas de Galicia, tengo recogida información y datos referentes a más de cincuenta, pero sin duda su número es mucho mayor, pues en este índice no se incluyen numerosísimas furnas de nuestras costas.

El estudio espeleológico de Galicia se puede decir que todavía no ha comenzado, y en este aspecto estamos muy atrasados con relación a otras regiones peninsulares, donde existen revistas especializadas en Espeleología, que como la de la Universidad de Oviedo, «Espeleón», dirigida inteligentemente por el Prof. Dr. Llopis Lladó, ha elevado a gran nivel el interés por esta clase de estudios.

Yo deseo y espero que pronto podamos ver iniciado este género de estudios aquí en Galicia.

β) *La erosión de la costa de Malpica*

Un problema que me interesó también es el de la rápida erosión que está sufriendo la parte de la costa comprendida entre Malpica y Cayón.

Coincide esta zona costera con la salida al mar de una importante corrida de esquistos y otras rocas metamórficas fácilmente erosionales y es digno observar cómo, más rápidamente de lo que a primera vista pudiera creer-

se, el mar va ganando terreno hacia el interior. Es lástima que no se disponga de buenos mapas de hace cien o doscientos años, con los cuales se podría medir la intensidad de este proceso. Su estudio es un tema siempre interesante.

Yo he podido comprobar, mediante observaciones y visitas a esta costa en años sucesivos, como grandes bloques del acantilado costero de más de cien metros de largo, diez o doce de ancho y unos veinticinco de alto, socavados al nivel del mar se desprendían, agrietándose primero y resbalando y hundiéndose después, para terminar convirtiéndose en un montón de bloques y cascotes disgregados por el mar. El resultado es un retroceso de la costa de cerca de diez metros; este proceso repetido durante años está dando lugar a la formación del gran seno que se inicia entre Malpica y Baldayo. Su estudio detallado ofrece gran interés desde diversos aspectos, además del puramente geológico.

γ) *Las aguas minerales y la tectónica*

Otro problema de gran importancia para la tectónica gallega es el estudio de la distribución genética de las aguas minerales y termales.

Durante la segunda mitad del siglo pasado apasionó este estudio de las aguas minerales bajo el aspecto médico, y todavía los trabajos de Taboada Leal, Correa Fernández y otros, tienen para nosotros un gran valor, pues son casi exhaustivos. El estudio de su composición química fué realizado por el gran químico gallego don Antonio Casares. Más recientemente se ocuparon de estos problemas el Prof. Iglesias y el Dr. López de Azcona, bajo los aspectos geológico y geoquímico res-

pectivamente, pero todavía falta realizar un trabajo de conjunto que relacione todos los datos disponibles, encuadrándolos dentro del marco geotectónico. Trabajo que resulta imprescindible para establecer una síntesis de la tectónica reciente del bloque gallego. Para el conjunto peninsular realizó en este sentido un ensayo de gran valor el Prof. D. Francisco Hernández-Pacheco, que desarrolló en su discurso de ingreso en la Real Academia de Farmacia, de Madrid, donde se hace resaltar su importancia y significación.

En Galicia existen infinidad de aguas minerales y termales, que hasta ahora no han sido consideradas en este aspecto geotectónico. En mis ficheros están recogidos los datos de unas doscientas cincuenta fuentes minerales de Galicia, muchas de ellas casi desconocidas y otras que todavía están esperando su estudio para poder ser clasificadas, pero todas esperan, como ya he dicho, ser encuadradas en un esquema general de la tectónica reciente de Galicia.

III. CONCLUSIÓN

Durante el desarrollo de esta nota he tratado de pasar revista y de presentar algunos de los numerosos e importantes problemas que actualmente tiene planteada la investigación geológica de Galicia.

Su interpretación se halla, como habéis visto, todavía en una fase preliminar, y por ello bien pudiera suceder que futuros geólogos de Galicia, basados en ulteriores y más afortunadas observaciones que las por mí realizadas, logren sin duda mejorar, e incluso cambiar radicalmente, muchos de los conceptos e interpretaciones ahora expuestos, arrojando de esta forma clara luz allí donde todavía reina la oscuridad.

MICHEL DURAND DELGA, JEAN MAGNE e YVES PEYRE (*)

DESCUBRIMIENTO DEL CRETACEO MEDIO EN LA BETICA DE MALAGA Y LA PENIBETICA DE ANTEQUERA (ANDALUCIA)

Mientras que en la zona subbética, el Cretáceo medio (Aptense a Cenomanense) está representado (1), (2), (3), (4) por potentes margas con microfaunas pelágicas, en las unidades estructurales más meridionales, por el contrario, no se conocen más que en Sierra España (1). En efecto, hemos descubierto un cierto número de afloramientos en la provincia de Málaga. Uno de ellos está situado en Palo de Málaga, en el seno del Mesozoico que descansa sobre el Primario de la Unidad de Málaga. Los otros, al sur y sud-oeste de Antequera, sobre el terreno estudiado por uno de nosotros en su tesis (Y. P.), se colocan en la cadena caliza «penibética», unidad de pertenencia estructural mal precisada, que limita al Norte la Bética de Málaga.

1. EL CRETÁCEO MEDIO DE PALO DE MÁLAGA

El corte del Cortijo de Cantal, levantado por los geólogos de la «Misión de Andalucía», ha sido vuelto a estu-

(1) Traducción del francés por María Concepción López de Azcona y Fraile, Licenciada en Ciencias Geológicas.—«C. R. Ac. Sci. Paris», CCII., 2796 a 98, 21 dic. 1959.

diar por uno de nosotros (M. D. D.) en 1957, posteriormente completado en 1958-1959 con varios colaboradores (5).

Varios niveles jurásicos (calizas oolíticas en la base, calizas con Saccocomidae —del Malm. superior— en la cúspide) están atravesadas por estrechas y profundas fisuras que rellena una caliza ferruginosa rojo ladrillo, cargada de glauconia. Este delgado encostramiento, datado del Albense con *Biticinella* cf. *breggiensis*, con *Lenticulina* sp. y numerosas *Globigerinas*, engloba residuos menudos, con contornos angulosos y suaves, de calizas berriasenses con *Calpionella* de gr. *elliptica*, *Tintinnopsella carpathica*, etc., algunas veces completamente separadas de su ganga. La serie se completa, en sus proximidades, por delgadas calizas rosas con *Globotruncana* cf. *coronata*, *Gl. fornicata*, *Gl. paraventricosa*, *Gl.* cf. *sigali* (Santoniense-Campaniense).

2. EL CRETÁCEO MEDIO EN EL SUR DE ANTEQUERA

El Primario de Málaga se hunde al Norte bajo el «Flysch de Colmenar», formado por la superposición de varios elementos estructurales (cf. Y. Peyre, 1959), y bajo el cual surgen al Norte las cadenas penibéticas, constituídas por calizas jurásicas, que coronan las calizas margosas blancas del Neocomiense y las margo-calizas rojo salmón del Cretáceo superior (6). Estas últimas, están a menudo directamente superpuestas al Jurásico, pero en ciertos puntos hemos observado (M. D. D. y Y. P.: verano de 1958), encostramientos del Cretáceo medio que las separan.

a) *Camorro Alto*.—En el declive al norte del desfiladero, separando el Camorro Alto de la Sierra Pelada,

400 metros al noroeste de la cota 1.063, un camino de herradura recorta el extremo superior de las calizas jurásicas, que pertenecen ya al Berriasense (*Calpionella alpina*, *C. intermedia*, *Stenosemellopsis hispanica*, *Tintinnopsella* cf. *carpathica*, *Mannocunus* gr. *steinmanni*, etcétera). Está coronado por una superficie endurecida, ferruginosa, que sobremonta una caliza verdosa; microcristalina, picada de glauconia, conteniendo minúsculos residuos angulosos del Berriasense sub-yacente, donde los microorganismos están a veces libres —como en Palo de Málaga— y cercanas a una asociación «autóctona» del Albense inferior (o del paso Aptense-Albense): numerosas *Globigerinas* con *G. planispira*, *Globigerinella* y *Biglobigerinella* (?), parecidas a las señaladas por J. Sigal (1958) en el Gargasense, escasas *Ticinellas roberti*, *Hedbergella*, sp.?, *Lenticulina*, sp. Las margo-calizas rojas, que vienen encima se atribuyen al Cretáceo superior.

b) *Sierra del Torcal*.—En el mismo camino, a 750 metros al suroeste del Cortijo de los Navazos (altitud 940 metros, según el Mapa a escala 50.000), las calizas grises jurásicas están atravesadas por cavidades irregulares que rellena una caliza compaca, rojo ladrillo, con mucha glauconia, idéntica al Albense de Palo de Málaga. La microfauna indica, sin embargo, su edad cenomanense (medio o superior): *Globigerinas* muy numerosas y variadas, abundantes *Rotalipora* con *R. apenninica*, bastante frecuente *Thalmaninella*, *Globigerinella*, sp., *Ticinella*, sp. (?). Las margas rosas del «Cretáceo superior», engloban en su base los cantos mal rodados (máximo 10 cm.) de calizas jurásicas, vienen inmediatamente encima.

3. EL CRETÁCEO MEDIO AL SUROESTE DE ANTEQUERA

Una quincena de kilómetros más al Oeste, al fondo del barranco, separan la Sierra de Huma del Tajo del Cuervo, al este del Cortijo de Castillo (Fuente de la Viuda) uno de nosotros (Y. P.) ha observado en 1958 la superposición de las calizas grises jurásicas —en realidad berriasenses en su cúspide (*Calp elliptica*, *Sten. hispanica*, *Tint. carpathica*, *Nannoconus* gr. *steinmanni*, etcétera—) de una quincena de metros de margas negruzcas con numerosos lechos de caliza blanca. Las dos formaciones están separadas por un nivel discontinuo, con más o menos glauconia, rico en nódulos calizos con estructura en cebolla. La base de las margas, encima de los nódulos, es Albense (muy numerosas *Globigerinas* con *G. planispira*, *Biticinella* cf. *breggiensis*, *Ticinella roberti*, *Lenticulina* sp., *Gyroidina* sp., escasos *Ammodiscus* y *Trochammina*), mientras que su cúspide, inmediatamente bajo las margo-calizas rojas del «Cretáceo superior», pertenecen al Cenomanense inferior o medio: muy abundantes *Rotalpora* (*R. apenninica*, *R. globotruncanoides*) y *Globigerina*, *Globorotalites* sp., escasas *Osangularia* cf. *cheniorensis*, *Lenticulina* sp., *Clavulinoides* sp.

4. EL CRETÁCEO MEDIO DE LA SIERRA ESPUÑA (PROVINCIA DE MURCIA)

Este macizo puede representar (1) el frente de la capa de Málaga sumergiéndose en la Subbética. Uno de nosotros (Y. P.) ha revistado en 1958 el corte de Prat Mayor, ya descrito por P. Fallot. La cúspide de calizas jurási-

cas, con lechos de sílex, ligeramente glauconiana, es rica en restos de *Equinodermos*, en *Texturáridos*, con pocas *Calpionella alpina* (*Titónico* o *Berriasense*). Encima vienen las calizas verde fuerte, con mucha glauconia, poco coherentes (alrededor de 10 metros), datadas en la parte media del Albense, probablemente superior (numerosas *Globigerina* con *G.*, cf. *washitensis*, *Textuláridos*, *Patellina* sp., *Ostrácodos*, *dientes de Peccs*): estos horizontes han suministrado ya (1) numerosos Osos albenses, Belemnites y algunos Ammonites, difíciles de determinar, pero con carácter aptense superior. Inmediatamente encima, un banco calizo, todavía con glauconia, y datado en el Senosense superior por *Globotruncana* gr., *lapparenti*, *Gl.* cf., *sigali*, *Gl.* gr., *stuarti*, etc.

CONCLUSIÓN

Tanto en las unidades estructurales meridionales de las cordilleras béticas (Mesozoicos reposando sobre la capa del manto de Málaga, Penibética más extensa), existen trozos de un Cretáceo medio con glauconia (Aptense superior a Cenomanense), a menudo reducido, siempre incompleto. Reposa por una superficie de aluvión o alteración, sobre las calizas jurásicas o neocomienses. Bien que la existencia, de trozos inconfundibles de erosión aérea faltan: nosotros suponemos más bien un régimen de no deposición o de alteración submarina entre el Berriasense y el Cenomanense superior, en las regiones descritas aquí. No se observa el paso gradual del Neocomiense al Senonense, propuesto por ciertos autores (2), (3).

En Málaga y en la Sierra Espuña, el Senonense reposa directamente sobre el Cretáceo medio (emersión o

laguna). En el dominio penibético, por el contrario, es verosímil que la facies de margo-calizas rojo salmón del «Cretáceo superior» aparezca ya en el Cenomanense, para continuar en el Senonense y hasta el Eoceno superior.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) FALLOT, P.: *El sistema cretáceo en las cordilleras béticas*. Madrid, C. S. I. S., 1945.
- (2) ALASTRUÉ, E.: «Mem. Inst. Geol. y Min. de España», 57, 1956, páginas 301-323.
- (3) PEYRE, Y.: *Comptes rendus*, 246, pág. 2137, 1958.
- (4) FALLOT, P., MAGNÉ, J. y SIGNAL, J.: *Comptes rendus*, 248, páginas 2686 y 2833, 1959.
- (5) AZÉMA, J., DURAND DELGA, M. y PEYRE, Y.: *Corte del Mesozoico y del Eoceno en El Palo de Málaga*, «Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España», LIX, 1960.
- (6) BLUMENTHAL, M.: «Ecl. Geol. Helv.», 23, págs. 41-293, 1930.
- (7) N. y PEYRE, Y.: *Observaciones geológicas en la Sierra de Espuña* (Murcia), «Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España», LIX, 1960.

SERVICIO PLUVIOMÉTRICO EN 1959 DE LA DELEGACIÓN DE LAS PALMAS DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Notablemente mejorado el servicio de recopilación de datos pluviométricos por esta Delegación del Instituto Geológico y Minero, publicamos esta información, en la que no hemos podido conseguir aún los datos del sur de la Isla de Fuerteventura, que nos había prometido el propietario de un extenso cortijo llamado «Dehesa de Jandía», en la que tiene dos pluviómetros, hace mucho tiempo, en «Morro del Jable» o Cantil y «Matas Blancas», superficie extensa que ahora quedará comprendida en la red, según figuran en el plano de la Isla que se acompaña a esta Memoria, juntamente con los de la Isla de Gran Canaria y Lanzarote.

Las precipitaciones de la Isla de Gran Canaria son, este año, aproximadamente, como una media de los cuatro años últimos. La máxima precipitación corresponde a la estación de la «Hoya del Cavadero», Fontanales, y la mínima a la estación de «Juan Grande», del Centro-Norte la una, y Sur, naturalmente, la otra, cumbre y costa, a 1.100 y 100 metros, respectivamente. Orientación y altitud, dos factores propicios que concurren, con la presión, y otras causas, en la precipitación de las lluvias.

De los meses fué, el de marzo, el más importante en

precipitaciones, cuyas lluvias repartió uniformemente, en todo el ámbito provincial, todas las Islas se beneficiaron este mes; en Gran Canaria se alcanzaron alturas pluviométricas que oscilaron entre los 40 y 170 litros por metro cuadrado. Cantidades menores en abril e inferiores a éste en mayo, a partir del cual se inicia la sequía, que ha durado hasta octubre, el mes que generalmente debe empezar a llover, hacia el cuarto creciente de la Luna, y que este año ha confirmado la regla. También en noviembre y diciembre llovieron cantidades que duplicaron las de octubre.

A pesar de ello, no alcanzaron las lluvias del Norte, zona principal de consumo de agua por la preponderancia del cultivo del plátano, la intensidad necesaria para hacer correr los barrancos, los cien litros en un día, y naturalmente quedaron los estanques y presas con pocas reservas, agotadas a medio verano, sin aprovechamiento alguno de las precipitaciones de noviembre y diciembre, insuficientes, como decíamos, para alimentar los tomaderos y otras formas de derivación y captación superficial. Se animaron los cultivos con el agua de estos meses, pero el valor del agua cerró el año con un precio exorbitante, más de 200 pesetas hora de 10 litros segundo, precio oneroso que yuguló las esperanzas del agricultor.

Si los embalses no reciben, por lo menos, la mitad de su capacidad, todos los años, no habrá moderación en los precios, y lo que es más complicado y problemático, no alcanzará para todos. El año fué, pues, deficitario o como vulgarmente se dice, malo.

* * *

Las lluvias en la isla de Fuerteventura vienen a ser este año una repetición, también, de los anteriores, y

si en algunas localidades lo fueron inferiores a otros años, en otras, como compensación, las superaron, lo que en conjunto, repetimos, la precipitación ha variado muy poco, la máxima no ha rebasado la cantidad de 188,6 litros, que corresponde a la estación de «Castillo de Lara», a 470 metros de altitud, enclavada sobre un macizo plutónico del término de Betancuria. La mínima recae sobre Gran Tarajal con 11,9 litros. Una particularidad observamos en la Isla Picuda, como se dice vulgarmente, que llueve un día por el Norte, otro día por el Centro, poco siempre por el Sur; por la mañana aquí, y por la tarde acullá, fenómeno en miniatura, muy propio del desierto sahariano.

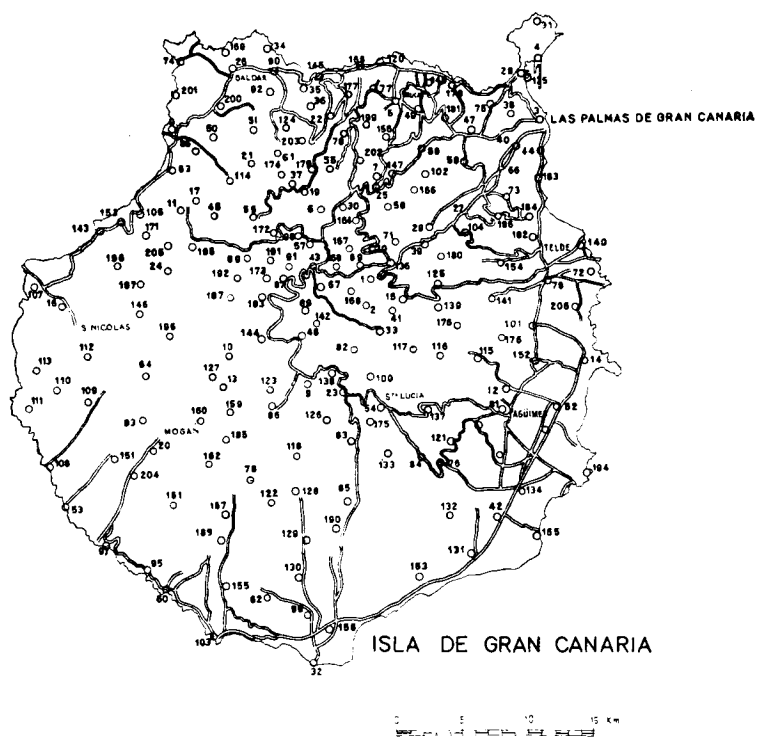
Características semejantes concurren en la otra isla hermana de Lanzarote, aunque aquí las precipitaciones duplican a las de Fuerteventura, casi siempre, y en éste han sido algo superiores a las de los últimos años.

La máxima del año la registra el pluviómetro de «Vegeta», con 234,0 litros.

La mínima corresponde al «Faro de Pechiguera», con 45,9 litros.

La particularidad radica en que a pesar de las pequeñas precipitaciones atmosféricas, se observa el hecho de la falta de pozos de alumbramiento de aguas subterráneas, donde en Fuerteventura cuentan por centenares, más de un millar, y en la Isla de Gran Canaria en mayor número.

Así es el resumen de las lluvias y su distribución en cada una de las islas de esta provincia de Las Palmas.



ISLA DE GRAN CANARIA

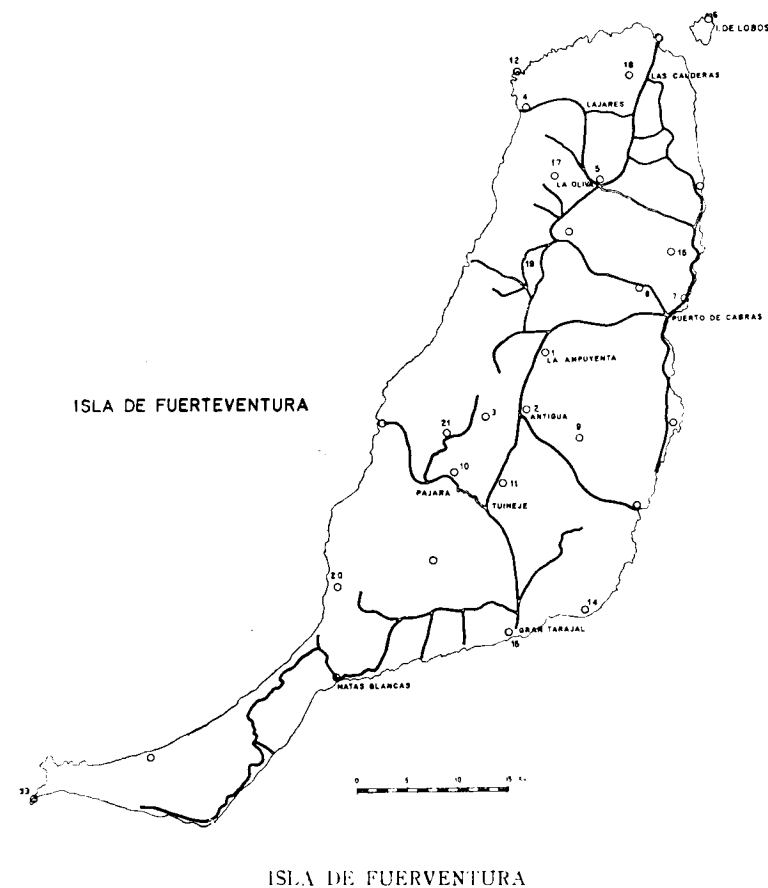
Lugar de observación	Cantidad anual en litros m. ²	Días de lluvia	Lugar de observación	Cantidad anual en litros m. ²	Días de lluvia
Acebuchal-Morro ...	88,4	19	Arucas	778,1	89
Agate-Leacok	256,0	45	Artenara	389,0	50
Agüimes	131,4	21	Atalaya	394,0	35
Agujero-Gáldar ...	127,9	27	Ayacata	176,1	23
Albercón-Virgen...	245,5	57	Ayagaures (Data) ...	35,4	8
Aldea S. Nicolás...	95,6	16	Ayagaures (Presa) ..	39,3	7
Almatriche	138,2	10	Ayagaures Salvial ...	72,5	10
Alta Vista	532,3	66	Bailadero-Vivero ...	118,5	23
Anden Verde	124,6	12	Bañaderos	205,6	51
Antona-Gañanías ...	550,3	60	Barranco L. Palmas .	48,4	11
Arenas Casa Job ...	116,3	11	Barranco Moya	90,0	28
Arguineguín	45,9	5	Barranco Pinar	739,5	98
Ariñez	640,8	60	Barranco Silva	104,9	13
Arinaga-Faro	31,9	12	Bllo. S. Andrés	130,0	10
Artedara	77,1	15	Bejeralta	494,3	54

ISLA DE GRAN CANARIA

Lugar de observación	Cantidad anual en litros m. ²	Días de lluvia	Lugar de observación	Cantidad anual en litros m. ²	Días de lluvia
Berrazales	421,0	50	Hoya Parrado	359,5	55
Berriell	64,4	7	Hoya de la Perra ...	349,7	21
Breña Alta	287,9	44	Hoya del Pozo	134,6	22
Caidero Bermejo...	99,3	17	Hoyos de Tafira ...	332,7	54
Caidero Niña	89,9	15	Inagua	152,6	25
Caidero S. José	772,4	74	Ingenio	161,0	10
Caidero Tauro	147,4	14	Isleta Faro	106,2	32
Cambaluz	392,2	47	Juan Grande	19,6	7
Canalizo	135,4	18	Juncalillo	763,1	87
Cañada La Penca...	88,4	13	Jiménez (Presa) ...	447,4	66
Cardon L. Palmas...	181,6	39	Lagunetas Molino ..	610,5	83
Cardonal-Gáldar...	237,6	40	Laja (Playa).....	112,1	42
Carrizal-Ingenio ...	128,1	12	Lima (Pinar Ing.) ...	115,9	20
Casa Ayala	333,7	89	Lomo Aljorradero ..	490,6	80
Casas Blancas	70,7	4	Lomo Blanco	390,7	50
Casas de Matos ...	177,5	38	Lomo Caballero ...	145,4	10
Cascajo Jinámar ...	102,0	39	Lomo Magullo	160,0	22
Cercado Espino ...	86,2	19	Lomo del Polvo ...	191,1	25
Cercado Araña ...	122,7	8	Lomo de P. Afonso .	55,6	21
Corralillos	92,1	13	Longueras	250,4	43
Cortijo Gamonal...	150,4	23	Llanetes	163,1	28
Cortijo Crespo ...	590,9	57	Llano Las Brujas ...	240,5	35
Cruce Sardina	9,1	3	Llano Quintanas...	249,7	44
Cruz del Carpio ...	121,0	9	Madres de Firgas ...	811,8	91
Cruz de María	601,1	70	Madroñal	532,2	121
Cruz de Tejada	592,8	70	Majada Alta	138,0	15
Cruz de la Virgen...	247,8	50	Manantiales	90,1	16
Cuatro Puertas ...	143,2	22	Marquesa Tirma...	190,8	32
Cuevas Blancas ...	369,5	79	Marzagán	128,1	45
Cuevas Grandes ...	670,1	71	Maspalomas-Faro...	51,3	10
Cuevas del Paso ...	291,6	55	Maspalomas-Pueblo .	51,2	10
Cuevas del Pinar ...	160,3	29	Maspalomas-Tablero.	57,7	10
Doctoral	11,6	3	Matanza	83,8	14
Draguillo-S. Mateo ..	524,2	75	Milagrosa	433,8	69
Era del Cardón	35,0	5	Miraflor	530,3	45
Faro Espartero	672,2	68	Mogán-Cercadillo...	46,0	7
Fataga	82,5	10	Mogán-Playa	40,3	6
Fontanales	977,8	65	Mogán-Pueblo	103,13	3
Fontanales Cist. ^a ...	858,9	70	Mondragones-Presa .	668,7	59
Galeotes	596,6	65	Monte Coello	441,6	58
Gáldar-Pueblo	247,0	61	Moya-Pueblo	752,5	62
Gando-Aeropuerto ..	109,4	34	Ñamerita-Vivero...	190,2	22
Guardaya Baja	170,1	28	Ojero	934,2	89
Guayedra Baja	152,5	15	Padilla	64,4	7
Guigüi	29,0	3	Pajonales-Finar ...	227,5	33
Guriete	39,2	3	Palmas Las	142,9	45
Hacienda Mocanes..	255,6	45	Palomas	110,8	13
Higuera Canaria ...	236,7	44	Pardilla	62,6	16
Hornos Presa	443,0	28	Pasadilla	313,0	34
Hoya Becerra	324,3	21	Pérez (Presa)	330,3	63
Hoya Gamonal	526,5	81	Pie La Cuesta	94,2	16

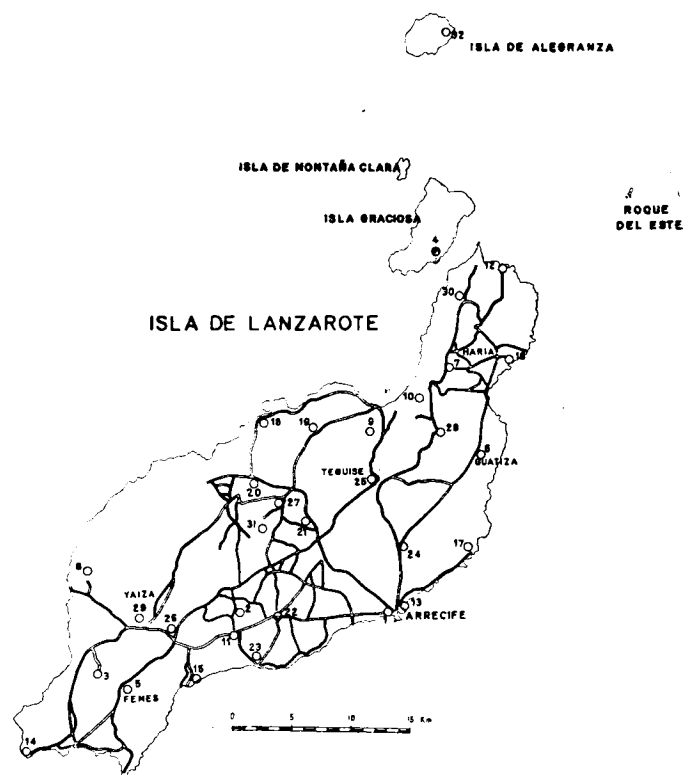
ISLA DE GRAN CANARIA

Lugar de observación	Cantidad anual en litros m ²	Días de lluvia	Lugar de observación	Cantidad anual en litros m ²	Días de lluvia
Piedra Molino	799,1	60	Tamadaba-Estado . .	792,4	94
Piletas	99,6	22	Tamadaba-Sansó . . .	598,0	73
Pinillo	131,0	20	Tamaraceite	332,1	42
Pino Cortadores	140,5	21	Tauro	49,9	12
Portales Altos	383,0	49	Tarajalillo	481,8	64
Puerto-Base de Hidros	79,4	30	Tazarte-Playa	109,5	11
Pto. Muelle Grande	124,8	35	Tazarte-Pueblo	139,5	10
Pto. Población	126,2	24	Tazartico-Cist. ^a	182,9	9
Pto. Rico Playa	48,0	12	Tazartico-Pueblo	157,0	16
Repartimiento	493,5	31	Tejeda-Culata	196,3	24
Retamilla	950,4	49	Tejeda-Chorrillo	150,0	10
Rincón Tenteniguada	370,8	40	Tejeda-Fondillo	147,9	9
Risco Agaete	203,9	20	Tejeda-Higuerilla	161,0	11
Rosas S. Isidro	577,6	56	Tejeda-Pueblo	162,7	16
Risco Blanco	128,5	19	Tejeda-Rincón	151,5	15
Salobre	53,3	6	Telde-Narea	152,3	22
Santidad	385,2	54	Temisas	224,3	21
San Andrés	378,8	55	Tenefé-Salinas	15,1	7
San Cristóbal	134,4	43	Tenteniguada	365,4	41
San Bartolomé de T.	122,2	17	Teror (Dominicas)	670,2	116
San Mateo-Pueblo	545,5	76	Teror-Pueblo	655,7	69
San José	63,8	15	Tifaracas	477,9	63
San Roque	419,3	61	Toscón-L. Palmas	398,2	95
San Lorenzo	436,4	68	Trasmontaña	220,6	34
Santa Brigida	404,6	39	Tres Palmas	378,3	35
Santa Cristina	667,0	56	Túnel de Tenoya	265,6	37
Santa Elena	234,7	59	Utiaca-Molino	529,6	80
Santa Lucía Tirajana	81,2	6	Valleseco-Pueblo	934,0	88
Sardina Norte	229,5	58	Valsendero	762,6	76
Sequero Alto	133,5	16	Valsequillo	255,6	55
Sitios de Abajo	101,9	17	Veneguera-Casas	169,6	14
Solana Lomo Vega	374,9	63	Veneguera-Inglés	160,0	9
Soria	114,3	10	Veneguera-Playa	105,0	7
Tablero-Corvo	687,7	106	Verdejo	787,4	66
Tafra-Vivero	395,3	64	Vijete	144,1	19
Taidía	109,8	16	Vuelta Moradas	142,9	15
Taginastar	74,9	10	Zumacal	634,0	47



ISLA DE FUERTVENTURA

Lugar de observación	Cantidad anual en litros m ²	Días de lluvia	Lugar de observación	Cantidad anual en litros m ²	Días de lluvia
Ampuyenta	109,3	12	Faro de Jandía	58,6	12
Antigua-Campeche	95,5	25	Faro La Entallada	33,6	7
Castillo de Lara	188,6	33	Gran Tarajal	11,9	3
Cotillo	76,7	20	Espigones	25,0	8
La Oliva	38,7	14	Rosa Candelaria	52,2	14
Martiño (Faro)	41,9	10	Las Calderas	51,1	15
Rosa del Viejo	23,9	14	Rosa Ucala-Tefia	64,6	14
Los Estancos	47,8	31	Ugan-Chigüibos	52,0	3
Antigua-La Torre	72,8	13	Vega de Río Palma	138,7	24
Toto-Tetuy	66,7	12	Betancuria	144,0	22
Tiscamanita	67,3	15	Agua de Bueyes	116,2	15
Tostón-Faro	67,2	13			



ISLA DE LANZAROTE

Lugar de observación	Cantidad anual en litros m ²	Días de lluvia	Lugar de observación	Cantidad anual en litros m ²	Días de lluvia
Arrecife	158,5	17	Playa Bastián	171,5	15
Asomada	203,5	30	La Santa	103,7	11
Breñas	142,8	13	Soó	63,0	7
Caleta Sebo	140,5	14	Tinajo	207,8	22
Femés	173,5	19	Tomaren	144,2	13
Guatiza	85,0	6	Tias	202,6	12
Haría	189,7	34	Tiñosa	179,5	15
Islote la Vieja	65,7	10	Tahiche	82,0	6
Laderas	152,6	26	Teguiese	147,6	26
Montaña de Haría ..	193,7	34	Uga	209,6	35
Macher	121,4	19	Vegueta	234,0	22
Orzola	166,1	14	Valles	90,5	12
Faro de Puerto Naos ..	96,5	12	Yaiza	157,1	13
Faro de Pechiguera ..	45,9	18	Yé	158,4	13
Playa Quemada	172,3	15	Tisalaya	152,4	17
Punta Mujeres	122,2	13	Faro de Alegranza ..	81,3	10

LÉGENDE GÉNÉRALE DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DU MONDE

Les Comptes rendus de la deuxième Session du Congrès Géologique International qui s'est tenu à Bologne en 1881 contiennent une proposition de légende générale pour la Carte géologique du Monde. L'expérience acquise depuis 70 ans dans la confection de cartes géologiques de plus en plus nombreuses a incité la Commission pour la Carte géologique du Monde (créée entre temps par le Congrès International) à réviser la légende de Bologne. Cette révision a été confiée à un Comité spécial choisi parmi les délégués des Services géologiques présents à la Réunion qu'a tenue la Commission à Paris en avril 1958.

Les propositions du Comité spécial ont été approuvées par la Commission et, après cette approbation, ont été diffusées sous forme renéotypée (Note 3 du Compte rendu général de la Réunion, en date du 1^{er} mai 1958). Les couleurs choisies par le Comité étaient définies par des adjectifs et par référence au projet présenté par la délégation soviétique et largement diffusé dans le monde entier par les soins de la Commission en janvier 1959.

Il a paru intéressant de rendre plus précise et plus officielle les décisions de la Réunion de Paris en les imprimant et en matérialisant les couleurs choisies.

Tel est l'objet du présent document et de son annexe.

Entre temps, une application de la nouvelle Légende a été faite à la feuille 3 de la Carte géologique de l'Afrique au 5.000.000^e. Au cours de cette expérience, certaines additions et modifications ont paru nécessaires, et il en a été tenu compte dans le texte ci-dessous et le tableau des couleurs joint.

Ces modifications et additions sont les suivantes:

Formations sédimentaires.

— Addition de représentations conventionnelles pour les salines et les formations sableuses quaternaires.

— Représentation du Néogène continental (ce qui fixe une couleur pour la surcharge des formations continentales).

— Addition, aux symboles littéraux, des indices 1, 2 et 3 pour différencier les subdivisions des Systèmes lorsque cela présente un intérêt à l'échelle de la Carte (exemple: Crétacé inférieur = K_1 , Crétacé moyen = K_2 , Crétacé supérieur = K_3).

Groupements de plusieurs Systèmes.

— Maintien des dispositions du paragraphe 4 et suppression des couleurs spéciales (qui contredisaient ces dispositions).

Précambrien.

— Les résolutions du Comité spécial prévoyaient d'une part un «Socle» et, d'autre part, un «Précambrien indifférencié». Seule la seconde désignation a été maintenue; elle équivaut, en fait, au Socle.

— Il est apparu utile de préciser la représentation des zones granitiques du Précambrien, si importantes dans les vieilles plateformes.

Roches intrusives et effusives.

— Simplification de la légende proposée par le Comité, dont les dispositions non reprises dans le tableau de couleurs ci-joint restent valables.

Roches diverses.

— Addition d'une représentation des «roches vertes» pour lesquelles aucune autre attribution n'est possible dans le cadre de la légende.

— Addition d'une représentation pour les roches intermédiaires, non classifiables, ou douteuses.

— Addition d'une représentation pour les radiolarites, ces roches méritant d'être très apparentes dans certaines régions du globe.

Bathymétrie.

— Il est apparu utile de matérialiser sur le tableau des couleurs, les recommandations du paragraphe 13 des propositions du Comité.

En conséquence, les dispositions adoptées par la Commission sont désormais exprimées par la légende colorisée ci-jointe et par le texte des pages 5 à 8 ci-dessous.

DISPOSITIONS ADOPTÉES PAR LA COMMISSION

La Commission recommande d'adopter les principes suivants pour la légende générale de la Carte géologique du Monde:

1. En principe:

- les formations *sédimentaires* seront représentées par des couleurs peu vives;
- les roches *ignées* seront représentées par des couleurs vives;
- les formations *métamorphiques* seront représentées conformément à leur nature primitive probable, mais seront différenciées par des surcharges.

FORMATIONS SÉDIMENTAIRES

2. Les différences entre les formations sédimentaires seront établies, en principe, d'après leur position *stratigraphique*. En général, une couleur sera réservée à chaque «système» stratigraphique (on entendra par «système» les grandes subdivisions, telles que Cambrien, Silurien, Dévonien, etc...).

3. Si le «système» doit être subdivisé, chacune des subdivisions sera représentée par des *teintes* de la couleur du système: la teinte la plus foncée représentera toujours la subdivision la plus ancienne. En principe, on ne fera pas ainsi plus de trois (3) subdivisions. S'il est nécessaire d'adopter plus de 3 subdivisions dans un système (soit pour des raisons d'âge ou de nature des formations), ces subdivisions seront représentées par des surcharges de nature variée (points, hachures, grisés, etc...) soit de la couleur du système soit en noir.

Il est recommandé de distinguer, toutes les fois que cela sera possible, les formations continentales des formations marines. Si les surfaces le permettent, cette distinction se fera par une surcharge colorée spéciale; si les surfaces sont trop petites pour permettre une telle surcharge, les formations continentales seront indiquées par une lettre spéciale (de préférence c) à la suite du symbole littéral de la formation.

4. Les formations qui s'étendent sur deux (2) systèmes seront représentées par la couleur du système le plus ancien, avec une surcharge de bandes nettement visibles, d'une autre couleur, de préférence voisine de la couleur du système le plus récent.

5. Les formations qui s'étendent sur plus de deux (2) systèmes seront représentées par des couleurs ou des teintes spéciales, de préférence assez ternes.

6. Les formations précambriennes sédimentaires (ou métasédimentaires) seront désignées par des lettres majuscules commençant par (A) à partir de la formation la plus récente de la région et continuant alphabétiquement vers les formations plus anciennes aussi longtemps qu'une telle séparation peut être effectuée. Les formations plus anciennes et

non différenciées qui restent ensuite seront désignées sous le nom de Socle (*Basement* en anglais, *Grundgebirge* en allemand). Toutes les formations précambriennes seront représentées par des couleurs relativement pâles.

7. Pour les formations et subdivisions dont il est question dans les paragraphes 4, 5 et 6 (et à un moindre degré dans le paragraphe B) on ne cherchera pas à définir des limites stratigraphiques précises: il est entendu qu'elles se rapportent à une région déterminée et indiquent l'âge relatif dans cette région, sans que cela entraîne nécessairement une corrélation avec d'autres régions.

ROCHES ERUPTIVES

8. La distinction entre les *roches éruptives*, sera d'abord essentiellement *pétrographique*: en général une couleur particulière sera attribuée à chacune des quatre grandes classes suivantes: roches calcoalcalines (acides et basiques), roches alcalines, trapps.

Les roches alcalines seront représentées par une couleur orangée plus vive que celle des roches volcaniques acides.

On recommande d'employer, comme symboles littéraux pour les roches éruptives, les lettres grecques: en principe: ρ rhyolite, α andésite, β basalte, γ granite, $\alpha\delta$ granodiorite, δ diorite, $\delta\beta$ gabbro, π péridotite, λ roches alcalines, τ trapp, etc...

9. Les roches *intrusives* les *trapps* (intrusifs ou extrusifs) et les roches *volcanique quaternaires* seront représentées par des couleurs plates vives; les roches *volcaniques plus anciennes* seront représentées par des surcharges, de la couleur appropriée sur la couleur attribuée aux formations sédimentaires de même âge. S'il est nécessaire d'introduire des subdivisions supplémentaires, soit pour l'âge soit pour montrer la position tectonique, ces subdivisions seront indiquées soit par des surcharges variées, soit par des symboles littéraux.

10. Les *roches intrusives acides* peuvent être subdivisées suivant leur âge et représentées par des teintes variées entre le rouge vif et le rouge orange vif, la teinte la plus forte représentant toujours l'âge le plus ancien. Aucune limite précise d'âge ne sera cependant recherchée pour les différentes teintes; et ces subdivisions se rapporteront uniquement à une Région déterminée pour indiquer l'âge relatif dans la région, sans que cela entraîne nécessairement une corrélation avec d'autres régions.

FORMATIONS METAMORPHIQUES

11. Les formations *métasédimentaires* ou *métavolcaniques* seront représentées par la couleur correspondant à leur position stratigraphique (pour autant qu'elle est connue), avec une surcharge de lignes sinueuses, rouges pour les formations métasédimentaires, oranges pour les roches

métavolcaniques acides, violettes pour les roches métavolcaniques basiques. Les roches *métaintrusives* seront représentées par la couleur correspondant à leur composition pétrographique avec une surcharge de lignes blanches. Les formations palingénétiques, migmatiques et les formations métamorphiques d'origine inconnue pourront être représentées par des lignes sinueuses épaisses, rouges ou blanches.

Les lignes sinueuses indiqueront la direction générale de la foliation, si celle-ci est connue; et des symboles variés attachés à ces lignes sinueuses pourront être employés pour indiquer le degré de métamorphisme, conformément au schéma suivant:

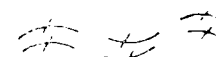
métamorphisme intense



si le pendage est connu



métamorphisme moyen



si le pendage est connu



métamorphisme faible



si le pendage est connu



degré de métamorphisme inconnu



Direction inconnue: points sans orientation.

RECOMMANDATIONS DIVERSES

12. Toute zone dont la géologie est connue doit être couverte par une teinte appropriée: les «blancs» seront réservés aux zones dont la géologie est inconnue (sauf les lignes sinueuses blanches dont il est question dans le paragraphe précédent).

13. La mer doit être couverte d'une teinte bleu pâle qui ne se confonde pas avec les bleus de l'échelle stratigraphique; les lignes bathymétriques seront indiquées.

14. Les frontières politiques des États ne seront pas reportées sur

le fond topographique. Lorsqu'une ville a changé de nom depuis moins de 30 ans, le nom ancien et le nom nouveau seront reportés sur la carte.

15. La transcription nationale de tous les noms géographiques (fleuves, caps, etc...) sera employée en alphabet latin. Pour les termes géologiques, pour les noms de pays, mers, océans ainsi que pour le texte des légendes et des titres divers des cartes, la langue française est recommandée.

16. En principe, les contours géologiques et les failles doivent être représentés :

- en lignes continues s'ils sont connus ;
- en lignes discontinues s'ils sont supposés.

Les ruptures tectoniques seront représentées par une ligne rouge.

17. Les limites des glaciations continentales maximales seront représentées par une ligne bleue ; les régions de glaciation continentale, par une surcharge de points bleus, plus dense sur les contours.

La légende jointe a pour objet de concrétiser ces principes. Elle contient seulement les subdivisions que nécessite une légende générale ; les subdivisions qui doivent être représentées par des nuances de la couleur ou par des surcharges ne sont pas reproduites dans la légende générale, car elles doivent être choisies suivant les nécessités de chaque région.

Paris, décembre 1959.

CARTE GÉOLOGIQUE DU MONDE

COULEURS ADOPTÉES POUR LA LÉGENDE GÉNÉRALE^(a)

Établie par le Comité de la Légende réuni à Paris les 2 et 4 avril 1958

couleur définitive		éléments composants				couleur définitive		éléments composants			
1	Q			QUATERNAIRE	20	A			PRÉCAMBRIEN indifférencié (Socle)		
2	Q			— ibid — dépressions salines	21	P ^(A)			PRÉCAMBRIEN A (le plus récent)		
3	Q			— ibid — sables et dunes	22	P ^(B)			— ibid — B		
4	TT			TERTIAIRE	23	P ^(C)			— ibid — C		
5	N			NÉOGENE continental	24	P ^(D)			— ibid — D (le plus ancien)		
6	N			— ibid — marin	25				ZONES GRANITIKUES du PRÉCAMBRIEN		
7	P ₀			PALÉOGÈNE	26				acides } ROCHES INTRUSIVES		
8	MZ			MÉSOZOIQUE non différencié	27					basiques } (c)	
9	K			CRÉTACÉ supérieur (b)	28				acides } ROCHES EFFUSIVES		
10	K			— ibid — inf ^r et moyen ou indiff ^r	29					basiques }	
11	J			JURASSIQUE	30				ROCHES VERTES		
12	T			TRIAS	31				COULÉES STRATOIDES (Trapps)		
13	PZ			PALÉOZOIQUE non différencié	32				ROCHES INTERMÉDIAIRES ou non classées		
14	P			PERMIEN	33				RADIOLARITES		
15	C			CARBONIFÈRE	34				0 — 500 mètres } ÉCHELLE BATHYMÉTRIQUE		
16	D			DÉVONIEN	35					500 — 2.000	
17	S			SILURIEN	36					2.000 — 5.000	
18	O			ORDOVICIEN	37					> 5.000	
19	G			CAMBRIEN	38				Formations continentales		

NOTES

(a) Cette Légende est essentiellement destinée aux cartes dont l'échelle est comprise entre le 5.000.000^e et le 10.000.000^e (inclus). Les couleurs fondamentales sont valables pour toutes les échelles.

(b) Les indices 1, 2, 3, peuvent être utilisés pour distinguer les subdivisions inf^r (1), moy (2) et sup^r (3) des systèmes
Ex: K₁, K₂, K₃.

(c) Pour des différenciations plus complexes, se reporter au texte imprimé. De même pour les lettres grecques indiquant la nature des roches.



BIBLIOGRAFIA CONSULTADA PARA LA REVISION DE LA HOJA NUM. 52 (GRANADA), DEL MAPA GEOLOGICO NACIONAL 1 : 400.000

OBRAS CONSULTADAS

- AGUIRRE, E.: *Novedades paleontológicas de la depresión de Granada y estratigrafía de su borde NE. (Alfácar)*, «Est. Geol.», t. XIV, número 38, pp. 107-120, 1 fig., 7 láminas, 1958.
- BEMMELEN, K. W. VAN: *Brijdrage tot de Geologie der Betische Ketens in de provincie Granada*, «Delf.» (Techn. Boekhand e. Drukk), 1 vol., 176 pp., 10 figs., 15 fot., 5 lám., 1927.
- BLUMENTHAL, M. M.: *Beiträge zur Geologie der betischen Cordilleren beiderseits des Rio Guadalhorca*, «Ecl. Geol. Helv.», t. XXI páginas 41-293, 1930.
- — *Géologie des chaines péribétique et subbétique entre Antequera et Loja et les zones limitrophes (Andalousie)*, «Bull. Soc. Géol. France», t. (5) I, pp. 23-94, 4 figs., 3 láminas, 1931.
- — *Das Paläozoikum von Málaga als tektonische Leitzone im Alpidischen Andalusien*, «Geol. Rundsch», t. XXXIV, pp. 170-187, 1933.
- — *Reliefüberschiebungen in den Westlichen Betischen Cordilleren*, «Géol. Médit. Occid.», t. IV, núm. 8, part. II, pp. 3-28, 14 figuras, 7 láminas, 1935.
- — y FALLOT, P.: *Observations géologiques sur la Sierra Arana, entre Grenade et Guadix*, «Mem. Soc. Esp. Hist. Nat.», t. XVII, páginas 9-74, 9 láminas, 1935.
- BRINKMANN, R. y GALLAVITZ, H.: *Der Betische Aussenrand in Südostspanien*, «Abh. Gess. Wiss. Göttingen, Math Phys. Kl.», serie III, cuaderno 8, 95 pp. (existe trad. española en «Publ. Extr. sobre Geol. España», t. V, edit. por el Inst. «Lucas Mallada», C. S. I. C.), 1931.
- BROUWER, H. A.: *Zur Geologie der Sierra Nevada*, «Geol. Rundsch», tomo XVII, pp. 118-137, 8 figs., 1926.
- — y JANSSEN, H.: *Structure of the Sierra de Baza and adjacent regions in Southern Spain*, «Proceed. Konink. Akad. van Amsterdam», volumen XXXIII, núm. 9, pp. 788-789, 1 fig., 1933.
- CARANDELL, J., CARBONELL, A., GÓMEZ LLUECA, F. y NOVO, P. DE: *De Sierra Morena a Sierra Nevada* (Guía Excur. A-5), «XIV Congr. Geol. Intern.», 1 vol. 143 pp., 22 láminas, 1926.

- COPPONEX, J. P.: *Étude géologique des Alpujarrides Occidentales*, «Bol. Inst. Geol. Min. España», 1959.
- CUBILLAS, I.: *Sobre la estructura del borde septentrional de Sierra Nevada*, «Bol. Univ. Granada», núm. 71, pp. 571-584, 6 figs., 1942.
- DEDEM, G. W., BARÓN VAN: *Der Geologische Bau der Sierra Tejeda*, «Géol. Médit. Occid.», t. IV, núm. 7, part. II, pp. 3-9, 1 lámina, 1935.
- DOUVILLÉ, R.: *Esquisse géologique Préalpes subbétiques (partie centrale)*, «Th. Univ. Paris, ser. A, núm. 526-1246, 1 vol., 214 pp., 21 láminas.
- FALLOT, P.: *Estudios geológicos en la zona subbética entre Alicante y el río Guadiana Menor*, Mem. Inst. «Lucas Mallada», C. S. I. C., 1 vol., 720 pp., 284 figs., 11 láminas, 1947).
- — *Les Cordillères Bétiques*, «Est. Geol.», núm. 8 pp. 83-172, 12 figuras, 3 láminas, 1948.
- — FAURE-MURET, A., y FONTBOTÉ, J. M. (en curso de publ.): *Investigaciones geológicas en el macizo del Mencal y zonas adyacentes*.
- — *El núcleo metamórfico de Sierra Nevada y la «Mischungszone»*.
- — y FONTBOTÉ, J. (en curso de publ.): *Observaciones sobre la constitución y cronología de la «Formación de Guadix»*.
- FONTBOTÉ, J. M. y QUINTERO, I. (en curso de publ.): *Hoja núm. 1.010 (La Peza) del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*, Madrid, «Inst. Geol. Min. España».
- GIGNOUX, M. y FALLOT, P.: *Contribution à la connaissance des terrains éogènes en quaternaires marins sur les cotes méditerranéennes d'Espagne*, C. R. XIV Cong. Int. Geol., pp. 413-521, 39 figs, 1926.
- GUARDIOLA, R. y SIERRA, A. DE: *Hierros de Almería y Granada*, «Mem. Inst. Geol. Min. España», t. 30, 32 y 34.
- HETZEL, W. H.: *Bijdrage tot de Geologie van de Sierra Alhamilla (Provincia de Almería)*, «Delft.», 1 vol., 104 pp., 1923.
- JANSEN, H.: *De geologie van de Sierra de Baza en van de aangrenzende gebieden der Sierra Nevada en Sierra de los Filabres (Zuid Spanje)*, 1 vol., 99 pp., 13 fig., 1 lám., Amsterdam, 1936.
- STAUB, R.: *Der Deckenbau Südspaniens in den Betischen Cordilleren*, «Vierteljahr. Naturf. Gess. Zürich», t. LXXXIX, pp. 271-332, 1 lámina, 1930.
- VIENNOT, P.: *Observations géologiques dans la région de Grenade (Andalousie)*, «Livr. Jub. Soc. Géol. France», pp. 633-660, 100 figs., 1 lámina, 1930.
- WESTERWELD, J.: *De Bouw der Alpujarras en het tektonische verband der Oostelijke betische Ketens*, «Delft.», 1 vol. 117, pp. 28, figs, 2 láminas, 1929.
- ZERMATTEN, H. L. J.: *Geologische onderzoekingen in der Randzone van het Venster der Sierra Nevada (Spanje)*, 1 vol., 104 pp., 32 fig., 4 láminas, 1929.

En esta lista sólo están incluidas las publicaciones que contienen documentación cartográfica geológica y que han aparecido después de 1920. Las de fechas anteriores ya fueron utilizadas en la anterior edición de la Hoja. Aunque la mayoría de ellas han sido también consultadas, su mención aquí resulta innecesaria.

En la preparación de la nueva edición revisada de la Hoja, han sido también ampliamente utilizados numerosos datos cartográficos, originales de P. E. Aguirre, P. Fallot, J. M. Fontboté, Y. Peyre, e I. Quintero.

J. M. F.

VOCABULARIO ESTRATIGRAFICO

(Publicado en el número 57)

ADDENDA ET CORRIGENDA

Página 305, entre Capsense y Caradoc, añadir:

CARA = En una serie sedimentaria en posición normal, bajo este concepto de «cara» se entiende la superficie limitante de un estrato con sus contiguos superior o inferior. Cara superior es la superficie limitante de un estrato que lo separa, mediante hiato o diastema, de su contiguo superior a él. Cara inferior es la superficie limitante de un estrato que lo separa, mediante hiato o diastema, de su contiguo inferior a él.

Página 308, añadir al final de Estrato..., llamadas «caras».

Página 310, arriba en vez de ISOPTICA debe decir ISOPACA.

Página 314, entre Serie y Siciliense, añadir:

*SERIE COMPRENSIVA O COMPARATIVA = Conjunto de niveles estratigráficos que pueden corresponder a varios terrenos geológicos. Presenta una misma facies y compone un mismo elemento estructural en la orogenia de un país.

J. G. de Ll.

Noticias

«Anti-sigma plus».

Como una aportación más de las previsiones que se habían hecho sobre la existencia de la «antimateria» está el descubrimiento efectuado en el Instituto de Física de la Universidad de Roma de la nueva partícula «anti-sigma plus».

El manganeso en la Unión Soviética.

El mayor productor mundial de manganeso es la Unión Soviética, con más de 10 millones de toneladas anuales.

Los yacimientos de los Urales y Siberia están considerados como pobres, mientras que los de Ucrania son una gran esperanza en este metal.

Las reservas calculadas son las siguientes, en millones de toneladas: Nikopol, más de 1.000; Bolshore Tokmakovskoie, 1.000; Tchiatura, 100; Siberia Occidental, 50; Centro de Kasajstán, 45; Usa, 98; Otros, 20; lo que da un total de supuestas reservas de más de 2.200.

El cromo en la Unión Soviética.

Uno de los principales exportadores de cromita es la Unión Soviética, siendo sus principales yacimientos los de los Urales, entre los que destacan los de Saranowo y los de Kempirsai y los de Kapitonovskoie, en Ucrania.

Congreso de Preparación Mecánica de Minerales.

Continuando la serie de Congresos que como consecuencia del éxito obtenido en la primera reunión de carácter internacional que tuvo lugar en Londres en el año 1952, han venido celebrándose sucesivamente en Francia (1953), Alemania (1955) y Suecia (1957), para estudiar los últimos progresos realizados en el campo de la Preparación Mecánica de Minerales, en el año actual y durante los días 6 al 9 de abril, ha tenido lugar en Londres el quinto Congreso de esta especialidad.

Este Congreso, celebrado bajo los auspicios de «The Institution of Mining and Metallurgy», ha tenido su sede en Church House, Westminster, y tanto por la calidad de los trabajos presentados, como por la

asistencia al mismo, superior a la de los Congresos anteriores, ha constituido un verdadero éxito.

El número total de trabajos, previamente seleccionados, que fueron presentados para su estudio y discusión han sido de 52, y las sesiones de trabajo se han desarrollado agrupándose los diversos temas en las siguientes secciones: Molienda, Clasificación y Espesamiento, Investigación en flotación, Práctica de la flotación, Gravedad y Medios densos, Separación magnética y eléctrica, Tratamiento químico, Estudio de procesos y Control y Ensayos.

Entre los puntos de mayor interés tratados, merece especial mención el de la molienda autógena, habiéndose propuesto diversos medios para aumentar el efecto de fricción del mineral en los molinos de velocidad supercrítica y analizando la influencia que en la forma física del producto tiene la molienda por impacto en los molinos Aerofall.

En lo que a clasificación y espesamiento se refiere, se ha concedido especial importancia a los hidrociclones, analizando los diversos factores que intervienen en su diseño y funcionamiento, y entre ellos, la influencia de la posición del tubo interior (vortex finder) y el efecto beneficioso de la adición de agua en la parte inferior del cono para eliminar las lamas arrastradas en la descarga (underflow).

La flotación ha sido el tema más ampliamente tratado, exponiéndose diversos trabajos de investigación sobre: adhesión, ángulo de contacto, adsorción y desorción de reactivos, influencia de los gases, influencia de la presencia del hierro procedente de la molienda y otros factores relacionados con este proceso.

La desorción de reactivos se ha estudiado con especial interés, al objeto de buscar un procedimiento eficaz para efectuar esta operación sin tener que emplear los sistemas de filtrado y lavado actualmente en uso en algunas instalaciones. En este sentido el empleo de vibraciones ultrasónicas parece dar buenos resultados, sobre todo, con los xantatos pues, destruyen este reactivo. También se han propuesto otros sistemas, tales como el calentamiento, la abrasión mecánica y el paso de una corriente eléctrica a través del mineral, pero su aplicación no parece, por el momento, muy satisfactoria.

La concentración gravimétrica ha sido revisada tanto en lo que a los procedimientos clásicos de mesas y cribas se refiere, como a los modernos sistemas de concentración en ciclones y medios densos, siendo de destacar un trabajo en el que se propone el empleo del tetrabromoetano como medio de sustitución de las suspensiones corrientes empleadas. Este compuesto orgánico, cuya densidad de 2,96 le hace apto para esta clase de tratamiento, no ha sido empleado hasta ahora por su elevado coste, pero la puesta a punto de un procedimiento para obtenerle a un precio razonable de las aguas del Mar Muerto, parece abrirle un nuevo campo de aplicación.

Referente al campo de la separación magnética y eléctrica se han estudiado nuevos aspectos de ambos procedimientos, habiéndose presentado interesantes trabajos sobre fundamentos y características de dis-

tintos tipos de separadoras de alta y baja intensidad magnética, mereciendo especial mención las primeras, que han sido diseñadas para trabajar en húmedo. También se han presentado trabajos, sobre tostación y reducción de minerales, con vistas a su posterior separación magnética.

El tratamiento químico, cuya aplicación ha adquirido un gran desarrollo para los minerales de uranio, está siendo objeto de estudios para su aplicación a los minerales de volfranio, silicatos y otros, empleándose la lixiviación a presión.

Los temas tratados en las secciones de Estudio de procesos y Control y Ensayos, han sido igualmente interesantes, sobre todo desde el punto de vista de aplicación.

Al finalizar el Congreso, se han efectuado diversas excursiones, para visitar las zonas industriales de mayor interés del país. Estas excursiones, en número de cinco, han comprendido Escocia y Norte de Inglaterra, Sur del País de Gales y Oeste de Inglaterra, Cornwall, Midland y la zona de los alrededores de Londres.—J. M.^a F. B.

Detección de gases explosivos.

Se ha ideado un detector de gases combustibles y explosivos, que acusa el peligro incluso en ambientes húmedos. Su indicación se efectúa por medio de una serie de señales acústicas y ópticas que están insistiendo todo el tiempo durante el cual la acumulación es peligrosa.

Curso de reproducción y de impresión de cartas fotográficas.

Durante los días 3 a 9 de octubre tendrá lugar el segundo Curso de Técnica de Reproducción e Impresión de Cartas Fotográficas, que se celebrará en Munich. El Curso consta de tres partes:

1.^a *Técnica de reproducción* (fabricación de formas de impresión). Problema de la trama (tramas cuadrículadas, tramas de contacto). Estudios sobre la nitidez del punto de similitud. Variación dimensional de hojas transparentes. La influencia de la capa a trazar. La fotografía electrostática. Conocimientos recientes sobre las planchas de impresión offset. Objetivos fotográficos para la reproducción. La composición fotográfica en las técnicas de la cartografía.

2.^a *El papel*. Los inconvenientes debidos a las condiciones climáticas. Puesta a punto actual de los métodos de enseñanza para examinar la impresión.

3.^a *Colores y tintas de impresión*. Normalización y medida de los colores. Procedimientos diversos de la fabricación de cartas policromas.

Reserva provisional de una zona de la provincia de Salamanca.

Por Orden del Ministerio de Industria se reserva, con carácter provisional, a favor del Estado, los yacimientos de toda clase de sustancias,

excluidos los hidrocarburos y las rocas bituminosas que puedan encontrarse en la zona que se designa a continuación:

Paraje «Las Viñas», del término municipal de Alameda del Gardón, de la provincia de Salamanca donde se reservarán 12 pertenencias con el nombre de «Salamanca 26», tomando como punto de partida un mojón de mampostería, de forma prismática cuadrada, que termina en un remate piramidal, y lleva alojada en su interior y centro una barrena de viento. El orificio de esta señala el punto para el aplome del aparato. Está colocado en la esquina Sur, y por la parte de fuera de la cortina, propiedad de don Angel González, en el camino denominado «Cañada de las Viñas» en una dirección E. 35 g. 35 m. S. y a una distancia de 806 metros del puente de la carretera internacional vieja sobre la Ribera de Dos Castos.

Desde el punto de partida en dirección Sur, 41 g. O. y a 65 metros se colocará la primera estaca. De la primera estaca en dirección O. 41. g. N. y a 100 metros se colocará la segunda estaca. De la segunda estaca en dirección N. 41 S. y a 400 metros se colocará la tercera estaca. De la tercera estaca en dirección E. 41 g. S. y a 300 metros se colocará la cuarta estaca. De la cuarta estaca, y en dirección S. 41 g. O. y a 400 metros se colocará la quinta estaca. De la quinta estaca y en dirección O. 41 g. y a 200 metros, se vuelve a la primera estaca, quedando así cerrado el rectángulo de 12 pertenencias solicitadas.

Todos los rumbos se refieren al N. verdadero y son centesimales.

La reserva así establecida entrará en vigor a partir del día 7 de junio.

Energía nuclear en Europa.

Los países que integran la Comunidad Europea dispondrán, según estudio realizado por técnicos de la Euratom inserto en el informe anual, de 250 centrales nucleares en el plazo de veinte años, con una producción de electricidad superior a la actual, procedente de centrales térmicas e hidroeléctricas localizadas en los países miembros. La potencia nuclear instalada para el año 1980 será de 40.000 megawatios. En el informe se indica que el kilowatio-hora nuclear es más caro que el clásico y subraya la persistencia, durante mucho tiempo, del petróleo, carbón, y hulla blanca como fuentes de energía eléctrica, duración que vendrá determinada por coste de la energía nuclear.

Symposium sobre determinación de la edad de las rocas.

Los temas seleccionados para la reunión que tendrá lugar en Helsinki el día 27 de julio son:

1-Meteoritos a) Edad de Formación. b) Edad de exposición a la radiación cósmica. c) Relación entre los meteoritos y la tierra. d) Propiedades inducidas por las radiaciones cósmicas.

11-Patronos de edades para rocas metamórficas a) Estudios de laboratorio. b) Campos de estudio.

111-Edades de las zonas precambrianas mundiales (resúmenes) a) USSR. b) Fenoesandinavia. c) Escocia. d) América del Norte. e) Africa. f) Australia. g) América del Sur.

El petróleo en la Comunidad Francesa.

Con el fin de destacar el incremento de la industria petrolífera en la Comunidad Francesa, damos el adjunto cuadro comparativo del primer trimestre del año actual, con el de 1959.

	1959	1960
Petróleo en mill. de t. del Sahara.....	0.35	1.30
» » metrópoli.....	0.35	0.66
» » Gabón.....	0.17	0.20
Gas natural en mill. de m. ³ metrópoli.....	252	569
» » resto de la comunidad.....	2	6
Azufre del Lacq en t.....	63.500	160.000
Sondeos en m. en el Sahara.....	72.000	90.000
» » en la metrópoli.....	99.500	100.000
» » resto de la comunidad ...	36.000	35.000

El gas natural en la Unión Soviética.

Las reservas de gas natural de la U. R. S. S., estaban calculadas en 1 de enero de 1959 en 940 millones de metros cúbicos, y la producción en 1958 fue de 30, esperando que con el plan septenal (1959-1965) se llegue en 1965 a los 150 millones y que la producción anual en 1972 sea de 270 a 320 millones.

Aspecto mineralúrgico de la industria nuclear francesa.

Conocidos hace años los yacimientos de uranio de ultramar, en la metrópoli francesa no se tuvo fortuna en las investigaciones hasta 1948, en que se descubrió el de Crouzeville (Haute-Vienne). En el año 1954 se descubrió el bastante rico de Limouzat, cerca de Vichy.

Las concentraciones de minerales se iniciaron en las factorías de Gueugnon y Escarpierre, en 1958 se inauguró la de Bessines, estando en la actualidad muy avanzado en su construcción el cuarto establecimiento

de concentración. La obtención del metal de uranio, se inició en Bouchet en 1947, con una producción en 1959 de 500 toneladas, año en el que se inauguró la segunda factoría, que es la de Malvesi con una capacidad anual de 1.000 toneladas de uranio.

La siderurgia francesa.

El IV Plan de modernización de la industria siderúrgica francesa, que finaliza en 1965, se prevee el paso en la producción de acero bruto de 16,5 millones de toneladas anuales a 23 millones.

Oleoducto Milán-Baviera.

A pesar del proyecto de las grandes empresas petrolíferas alemanas de construir un oleoducto Marsella-Karlsruhe, la sociedad «Sued-Petrob» mantiene su proyecto de la construcción de otro oleoducto, Milán-Baviera, vía Aigel, pasando por el Valle del Ródano.

Reserva definitiva de una zona de la provincia de Cáceres.

Por Orden del Ministerio de Industria del 22 de junio se reserva, con carácter definitivo a favor del Estado, los yacimientos de toda clase de sustancias, excluidos los hidrocarburos y las rocas bituminosas, en la zona que se designa a continuación:

Parajes denominados «El Orejudo» y «La Centenera», de los términos municipales de Montánchez y Alcuéscar, de la provincia de Cáceres, denominada «Cáceres décima», de 154 pertenencias. Punto de partida, un mojón de mampostería enlucido, de sección cuadrada de 35 x 35 centímetros y 35 de alto que termina en un remate piramidal de 10 centímetros de altura. Está situado en la parte más alta del Cerro de Orejudo, en el término municipal de Montánchez, cuyo punto de partida y demarcación quedaron establecidos en la Orden de 12 de mayo de 1958, publicada en el «Boletín Oficial del Estado», de 30 del mismo mes y año, en la que se acordó la reserva provisional de dicha zona.

CRONICA DEL V CONGRESO MUNDIAL DEL PETROLEO EN NUEVA YORK

Considerando la gran importancia de este Congreso y de los temas en él tratados, haremos a continuación dos resúmenes: El primero, por riguroso orden cronológico de los principales acontecimientos más vividos personalmente y sacado de las reseñas que se repartían diariamente.

En el segundo se seguiría el orden de las secciones, destacando los puntos principales de las comunicaciones presentadas y agregando una lista de las mismas al final de cada sección. Este resumen es obtenido, en parte, de los diferentes resúmenes publicados en varias revistas.

PRIMERA PARTE.—RESUMEN CRONOLÓGICO

Ingenieros y científicos del Petróleo de 48 países han acudido a Nueva York para participar en el 5.º Congreso Mundial del Petróleo que tuvo lugar del 31 de mayo al 5 de junio de 1959.

El gran interés despertado por este Congreso en el Hemisferio Occidental ha hecho que el número de participantes haya sido muy elevado distribuyéndose de la siguiente manera:

Argentina (8), Australia (6), Austria (21), Bélgica (22), Bolivia (1), Brasil (12), Canadá (93), Chile (2), China (4), Colombia (4), Checoslovaquia (6), Dinamarca (5), Finlandia (5), Francia (342), Alemania (176), Grecia (1), Hungría (8), India (7), Indonesia (5), Irán (20), Irlanda (1), Israel (9), Italia (90), Japón (37), Libano (11), Méjico (18), Marruecos (4), Holanda (58), Noruega (4), Pakistán (1), Paraguay (1), Filipinas (1), Polonia (9), Portugal (12), Rumania (8), Arabia Saudita (4), España (28), Suecia (16), Suiza (23), Turquía (14), Africa del Sur (3), Rusia (5), República Árabe Unida (7), Reino Unido (266), Uruguay (1), Venezuela (8), Yugoslavia (5).

El objeto primordial de esta semana de reuniones era la presentación y discusión de 300 trabajos presentados por las figuras más relevantes de la industria del petróleo.

En estos trabajos se explican los medios para llegar lo más rápidamente posible al descubrimiento de nuevos campos petrolíferos, los métodos más eficaces para su explotación y obtención de los petróleos de más alta calidad que demanda la moderna industria, así como a los mejores métodos para su transporte.

Además, existía una sección completa dedicada a estudiar la ayuda que la energía atómica puede proporcionar a la industria petrolífera y a su repercusión.

El Presidente del Congreso fue H. S. M. Burns, Presidente del Consejo de Directores del «American Petroleum Institute» y Presidente de «Shell Oil Company».

La sesión de apertura tuvo lugar en el Waldorf Astoria, el domingo 31 de mayo por la tarde, por el Presidente que dio la bienvenida oficial a los congresistas.

Una exposición de Maquinaria y Equipos Petrolíferos fue inaugurada en el edificio del Coliseum como parte del Congreso.

Día 1 de junio.

Mr. L. F. Mc Collum, Presidente de Continental Oil Co. Houston Texas habló a todos los petroleros para que reconozcan, definan y acepten una «Comunidad e intereses en el petróleo y en un esfuerzo común para explotar los recursos de petróleo del mundo en términos de equidad que sean beneficiosos para toda la humanidad».

Leyó además un trabajo titulado «Contribución del Petróleo, Pasado y Futuro».

Continúan las comunicaciones en términos de buena voluntad para la mejor comprensión de los problemas comunes dentro de la mundial independencia de los intereses individuales.

El Dr. Edwar Teller, profesor de física nuclear de la universidad de California habla en una sesión técnica sobre energía nuclear. Entre otras cosas dijo que es mucho más fácil desarrollar energía incontrolada que ser capaz de controlarla y compara las explosiones nucleares de hoy a fuego incontrolado «podemos hacer agujeros en la corteza terrestre con explosivos nucleares» y será muy interesante para grandes excavaciones, tales como canales o puertos. También las explosiones subterráneas de bombas nucleares pueden ser utilizadas por la industria minera y petrolífera para crear cavidades en las cuales los minerales puedan ser concentrados y explotados.

El principal problema es encontrar pequeñas bombas capaces de ser utilizadas controlándolas perfectamente.

Habla de las consecuencias de las explosiones en la contaminación de las aguas subterráneas.

E. V. Murphree, Presidente de Esso Research describe las dificultades que habrán de vencerse todavía antes de que la energía atómica llegue a ser una importante fuente de energía.

El problema de los reactores regeneradores que puedan producir materia fisionable de U-238 y Torio deberá desarrollarse antes de que los reactores atómicos puedan suministrar una proporción sustancial de la energía requerida en el mundo.

Dijo que quizás la más valiosa aportación de la energía atómica a la paz es la creación de un abundante suministro de Radio-isótopos.

En la producción de petróleos, los radioisótopos han sido usados para seguir el flujo de los gases usados para dar comprensión a los campos de petróleo.

Añadió que durante los tres últimos años un cuadro más realista ha salido del estudio de la posición de competencia de la energía atómica como fuente de energía eléctrica.

Compara la posición de competencia de la energía atómica en Estados Unidos y en Europa. En los Estados Unidos donde el petróleo se puede obtener, aun, a costo moderado, la energía atómica es menos competitiva que en Europa, donde la obtención de los aceites es mucho más cara.

Otra interesante posibilidad para la energía atómica es la de producir electricidad por vapor de agua en cavernas subterráneas. Explosiones atómicas enterradas en capas o domos de sal podrían producir calor a muy bajo costo.

El agua podría transportarse por tubería hasta la fuente de calor y el vapor resultante retornar a la superficie y producir electricidad.

Cuatro tipos de reactores atómicos han sido desarrollados en los Estados Unidos hoy. Se están haciendo progresos en los reactores regeneradores, pero más lentamente que en el desarrollo de los reactores de energía.

En la sesión de la tarde Mr. Wilson, que es Presidente retirado de «Standard Oil Company», de Indiana, declara que la energía atómica tendrá un efecto muy pequeño en el desarrollo de la industria doméstica del petróleo en los próximos veinticinco años, ya que existe muy poca posibilidad de que esta energía se pueda usar en automóviles, etc.

En la comunicación «El papel de los transportes por mar en la industria del petróleo», se expresa que la energía nuclear debe competir económicamente con los petroleros actuales. En cinco años los barcos nucleares deben ser solamente un 30 por 100 más caros que los normales.

El gran incremento que la ciencia de la sedimentología está tomando en las investigaciones petrolíferas del mundo, hace que muchos geólogos asistentes al Congreso se interesen por las comunicaciones de esta Sección.

Se discutió un largo Symposium titulado «La Sedimentología y la Industria del Petróleo».

La sesión fue patrocinada por la «Internacional Asociación of Sedimentología» y presidida por Andre Vatán, del Instituto Francés del Petróleo, París.

Por la mañana, la principal comunicación fue «Recent Sediment Studies by Americans» (estudios recientes de sedimentos por los americanos), de que es autor el profesor Francis P. Shepard, de la Universidad de California.

Shepard ha dirigido durante siete años los estudios de campo de la costa del Golfo, encontrando que en el delta hay tres facies: pizarrea, areniscas y arcillas.

En la sesión de la tarde se da a conocer un trabajo leído por uno de sus autores, Dr. Raymond Siever, de la Universidad de Harvard, titulado «Recent Trends in American Sedimentology» (Tendencias modernas en la Sedimentología americana).

En este trabajo se indica cómo en los últimos cinco años se ha puesto en evidencia un gran interés por la geoquímica sedimentaria con un avance esencial en los minerales y rocas carbonatadas.

El Presidente resume la sesión destacando la importancia de la observación analítica en el estudio de la sedimentología, ya que los minerales siguen una línea de estabilidad que puede ser determinada como regla «a priori» por métodos experimentales, si bien éstos son tan variables, que hacen el problema muy complicado.

Indica también que el Symposium actual había nacido en el cuarto Congreso Mundial del Petróleo de Roma, en 1955.

Refinerías.

Las refinerías de petróleo están haciendo una gran labor para obtener combustible para el automóvil del futuro.

En la comunicación «The refiner looks at car of the future». (Las refinerías miran al coche del futuro). Ja. Nevisow-C. D. Wigley y L. J. Test, de «Atlantic Refining Co». Filadelfia, se insiste sobre esto destacando dos factores: uno, el mayor índice de comprensión de los motores de coche que necesita cambiar el combustible, otro, la popularidad cada vez mayor del coche pequeño, que hace que se piense en ir hacia nuevas mezclas de gasolina.

«Esso Research and Engineering Linden» está desarrollando un nuevo proceso de refino que intenta invertir las tendencias al elevado costo de la gasolina de altos octanos (anti-detonante), que fue expuesto en una comunicación titulada «A New Isomerization Process» (Un nuevo proceso de Isomerización).

Estudios económicos han mostrado que el costo de un barril de gasolina con el nuevo proceso será de cinco a diez céntimos de dólar, dependiendo del tipo de crudo y de la capacidad de la unidad que efectúe el proceso.

El nuevo proceso que envuelve una conversión química conocida como Isomerización, da casi el 100 por 100 de rendimiento al convertir los componentes del petróleo en componente de un índice superior de octanos.

«Universal Oil product Company» presenta «Processing needs for Higher Quality Fuels» (Procesos necesarios para aceites de la mejor calidad) de J. F. Walter y M. J. Sterba. En esta comunicación se dice que, además de investigar el índice de octanos, la gasolina del futuro debe de tener las siguientes propiedades: Máximo rendimiento del motor correspondiente al número de Octanos.—Mínimos fallos del motor producidos por engrases.—Mínima emisión de vapores y humos en el escape.

En su comunicación «Communication Economic of Offshore Petroleum development in the U. S. A.» (Desarrollo económico de los sondeos marinos en U. S. A.).

La Shell dice que un pozo de 10 000 pies de profundidad a 65 pies de agua sobre el fondo costaría 750.0000 dólares y que el costo de un millón no sería raro.

Día 2 de junio.

A continuación cuatro científicos de la Standar Oil Co. (Indiana), trataron del progreso en los motores de alta comprensión y gasolinas de más alto índice de Octano e hicieron constar, que con las técnicas de refinería actuales, al aumentar el índice de Octanos aumentaría su coste, y debería compensar, al consumidor, en su rendimiento.

En otra de las 46 conferencias tratadas en la mañana del 2 de junio, el doctor Clark Goodman, director de Schlumberger Well Surveyng Corp Ridgefield Conn. disertó sobre el uso de los reactores nucleares en la industria petroquímica; aunque pronostica que pasarán al menos diez años antes de que la energía nuclear pueda competir económicamente con las instalaciones actuales.

Se disertó también sobre las nuevas técnicas y aplicaciones de maquinaria para mejorar los productos y procesos de refino.

Analistas de la Shell Research de Inglaterra describen el desarrollo de un nuevo método para detectar pequeñas trazas de impurezas en los productos petrolíferos por técnica conocida como un cambio de Iones. Esta técnica se basa en la absorción de partículas cargadas eléctricamente, o Iones, por resinas sintéticas.

Las refinerías en Estados Unidos son cada vez menos y mayores, con lo que se logra ventaja en el coste de la operación, dijo S. M. Livingston, de Chicago.

El número total de refinerías en este país, ha disminuido desde 459 en 1940 a menos de 300 hoy. Corrientemente 53 grandes refinerías con capacidad diaria de más de 50.000 barriles cada una, suma más de los dos tercios de la capacidad total de refino del país.

Se hizo constar que es también tendencia europea, el construir grandes refinerías.

Dos científicos de la Continental Oil Co. Houston (Tex), Jobar Murphy y C. G. Filstead dijeron que el mar no constituye una gran barrera para transportar el gas natural, ya que se puede transportar en estado líquido.

Los franceses de la Esso Standard hicieron constar que se podían mejorar los lubricantes por medio del proceso conocido como «Hydro fining».

También se habló de las características de los aceros europeos, comparables a los americanos para la construcción de equipo para refinerías tipo Standard.

Se ha progresado más en la construcción de oleoductos desde la última guerra, que en todos estos años desde que fue ejecutado el primero en 1865, dijo Kinsolving, y también habló de tipos de tubería de otros materiales distintos al acero, uso de pequeñas turbinas de inyección, sistemas de control automático, y revestimientos interiores de tuberías para disminuir la fricción y evitar la corrosión.

Predijo cambios radicales en los métodos de construcción, mencio-

rando las posibilidades de un sistema automático de soldadura, y máquinas que perforan las trincheras y al mismo tiempo producen una manguera de alta presión de plástico que se coloca en la trinchera una vez cavada.

En el transporte marítimo se tiende hacia barcos mayores y más rápidos. En enero de 1959 había 13 petroleros de 50.000 toneladas y hay 79 más en construcción. El problema es que hay pocos puertos en el mundo que puedan albergar este tipo de barcos, existiendo terminales en algunos de ellos a profundidades de 50 pies o más, con tuberías submarinas.

Se discutió el problema de clasificación de los aceites lubricantes y los métodos para hallar el índice de la viscosidad.

Algunos lubricantes se les añade polímeros y su viscosidad varía con los cambios de temperatura.

La variedad de aceites lubricantes es muy grande, variando desde los usados para automóviles a los usados en grandes máquinas.

Esta clasificación interesa a la ciencia y al comercio.

En las dos últimas décadas el índice de viscosidad se ha basado en los métodos de la «American Society Testing Materials».

J. C. Geneisse de la Atlantic Refining Co. de Filadelfia indica que se debe hacer una revisión del índice de viscosidad, en dos etapas.

1.º Se debe modificar la presente escala de ASTM adaptándola a los lubricantes de hoy.

2.º Estudiar un nuevo y más fundamental cambio en los métodos para determinar el índice de viscosidad.

Después de un siglo de progreso, la industria del petróleo se encuentra en los umbrales de grandes mejoras o acontecimientos, dijo C. E. Reistle, vicepresidente de «Humble Oil and Refining Co.» Houston (Texas).

Los progresos se fundan en avances técnicos, como los descritos en los 22 documentos presentados por técnicos e ingenieros de 15 países diferentes.

La industria del petróleo está exponiendo una gran cantidad de tiempo y dinero en investigaciones dirigidas a suministrar al consumidor del mañana abundante cantidad de gas y petróleo.

Un documento de especial interés es «Conservation of oil and gas in Texas». (La conservación de gas y petróleo en Texas), del General Ernest O. Thompson, refiriéndose a él Reistle dijo.

Hay hoy muy pocas pérdidas físicas en una obtención natural, de lo que llamamos petróleo. Pero puso de manifiesto que aún con los mejores métodos de conservación únicamente se calculaba, que un tercio de los depósitos de petróleo conocidos, se pueden recuperar por medio de la producción primaria.

Por esto, muchos de los documentos se refieren a métodos de incrementar la recuperación por medios artificiales.

Se habló de los progresos realizados para mantener la presión, y de los proyectos de recuperación que se están llevando a cabo en todo el

mundo, entre ellos los de inyección de gas en Texas, México y Venezuela.

Los métodos de inyección de agua que se están usando desde hace muchos años, se han mejorado en Rusia y Canadá. Los rusos, por ejemplo, dicen que ellos en muchos campos utilizan la inyección de agua desde el principio de la producción.

En los Estados Unidos, con los métodos de inyección de fluidos se pueden obtener en los próximos cincuenta años, unos 85 billones de barriles de petróleo adicionales.

Otros documentos trataron del trabajo que se está llevando en todo el mundo para conocer con exactitud el proceso físico de la recuperación del petróleo. Tales como estudios de las propiedades de las rocas almacén, experimentos de laboratorio y campo, llevados a cabo en Japón, sobre el uso de la combustión subterránea para incrementar el flujo de petróleo. Investigaciones en Holanda sobre el efecto de las fuerzas de capilaridad en el proceso de inyección de agua dirigida. Continúa diciendo Reistle, que parecía evidente que el progreso futuro se debería a cambios fundamentales en los métodos empleados y a revolucionarios desarrollos mecánicos. Es necesario, concluyó, que científicos e ingenieros de todo el mundo se reúnan en Congresos como éste y en una atmósfera de amistad y cooperación.

Al final de la sesión técnica John M. Boatwright, jefe económico de la Standard Oil Company, y Blaine Cooke, director de la sección comercial, hablaron de la importancia y progreso de las investigaciones comerciales como una herramienta de dirección, sobre todo desde los años de la postguerra.

Las investigaciones comerciales pueden suministrar tres servicios esenciales: información sobre mercados, solución a los problemas relacionados con los mismos e innovaciones. En el desarrollo de la información de los mercados, los investigadores han adaptado la metodología de la ciencia social.

También se habló en otro documento de las diferencias, entre las operaciones de refino de petróleo, manufacturas y petroquímica tratadas por tres representantes de la Imperial Chemical Industries Ltd. de Inglaterra: Denis W. Huebner, William A. Mason y James Woolcock, que señalaron que una refinería de petróleo comprende una serie de plantas que deben trabajar unidas, produciendo a partir del crudo una amplia serie de productos. En las operaciones químicas del petróleo, según estos autores, es posible partir de un petróleo bruto simple y producir sólo un producto químico. No obstante, la «integración» es posible en las operaciones petroquímicas, cuando varios procesos de manufacturación comparten un sitio común.

La mayor ventaja económica se obtiene en gran escala de los productos primarios de la operación de cracking y éstos se convierten a su vez en un gran número de productos finales.

La investigación en el uso de asfaltos para carreteras se discutió en dos documentos por científicos ingleses y alemanes.

Resultados de ensayos de campo en Inglaterra han demostrado que el petróleo del Oriente Medio es llamado a ser una fuente de asfalto duradero para carreteras; dijeron que los asfaltos obtenidos del refino del petróleo del Oriente Medio son parecidos a los asfaltos obtenidos con los crudos de Venezuela y Méjico, fuentes tradicionales de asfaltos superiores.

Investigaciones sobre la perdurabilidad de estos bitúmenes y de los procesos para obtenerlos fueron descritos por P. C. Bokker y H. Von Hoorn, de Koninklijke Shell-Laboratorium, Amsterdam. Las investigaciones alemanas llegaron a la conclusión de que la causa principal del endurecimiento del asfalto, parece ser las reacciones químicas con el oxígeno en la oscuridad.

La industria petroquímica ha llegado a ser una de las de más crecimiento y porvenir del mundo, dijo el Dr. Jerry McAfee, vicepresidente de la Gulf Oil Corp. de Pittsburgh, señalando que han crecido sus manufacturas desde 150.000 libras en 1925 hasta 42 billones de libras en 1958.

Hace tiempo el tamaño de esta industria y sus bajas necesidades de material crudo permitían ser cubiertas por simple recuperación de los subproductos de las refinerías; hoy ha llegado a ser necesario establecer operaciones en gran escala ligadas con la manufactura de los materiales crudos para su posterior conversión en productos petroquímicos. El número de materiales crudos empleados se han incrementado sustancialmente además de las olefinas que se obtenían en un principio, al acetileno, benceno, butileno, tolueno y muchos otros. Dijo que esta industria reemplazaría a los productos naturales, como el nylon ha reemplazado ampliamente a la seda, y otros sintéticos, como el orlon y dacrón a la lana.

Continuamente se sigue investigando en el campo de la petroquímica por lo que sus productos mejorarán cada vez más. Las principales categorías de productos petroquímicos son tres: alifáticos, aromáticos e inorgánicos. De éstos, los alifáticos comprenden el 65 por 100 de la producción petroquímica y los principales crudos para su obtención son las olefinas ligeras, etileno, propileno y butileno, de éstos, el más usado es el etileno, que se usa para producir polietileno para plásticos, óxido de etileno y etileno glicol para anticongelantes, detergentes y disolventes, estireno para plásticos y gomas sintéticas.

Etileno es un ejemplo de un crudo que es suministrado en gran escala a la industria petroquímica. Cantidades cada vez mayores se producen en grandes plantas de Cracking de varias refinerías y son enviadas por oleoductos a las fábricas para la obtención de los productos citados.

Propileno es recuperado como un subproducto de las operaciones de refino y es usado principalmente en la obtención de alcohol isopropílico.

El polypropileno, un nuevo plástico basado en el propileno, está comenzando a fabricarse en escala comercial y es un buen ejemplo de un nuevo producto petroquímico obtenido de un trabajo intensivo de investigación.

Butileno es un subproducto de las operaciones de refino del petróleo y de la deshidrogenación del butadieno, el cual es el principal componente de las gomas sintéticas.

Los hidrocarburos aromáticos principales, benceno, tolueno y xileno, antiguamente obtenidos del carbón, ahora se obtienen del petróleo, de los tres, el benceno es el más utilizado en la manufactura de estireno, fenol, nylon, detergentes y productos clorinados, que a su vez son usados para plásticos y gomas, fibras, insecticidas, etc.

Día 3 de junio.

Entre otros, en este día se presentaron documentos y conferencias que versaron sobre la contaminación del aire por los escapes de los motores, depósitos para almacenamiento de petróleo y materias radiactivas para el estudio de los motores.

En un estudio del motor diesel se puso de manifiesto que los gases de escape del mismo producen «benzpirene», hidrocarburo policíclico, en la proporción 3/4 que se sospecha contribuye a la contaminación de la atmósfera. C. L. Bailey, de British Petroleum Co, dice que estos hidrocarburos se producen solamente cuando la inyección es mayor de lo normal, o sea cuando existe exceso de carburante en la mezcla. El control debe hacerse al arrancar un motor frío y no en otra circunstancia.

Abel de Haan, de Tracerlab Inc. recomienda el uso de isótopos de corta vida en las investigaciones de petróleo. Estos trazadores radioactivos han dado excelentes resultados y decaen tan rápidamente que no pueden emitir radioactividad a la atmósfera.

Un documento de la Creole Petroleum Corp, habla sobre el almacenamiento de 3-3/4 de millones de barriles de fuel-oil residual en un depósito descubierto, construido en tres meses usando una arcilla mezclada con agua y compactada a alta densidad.

Estos depósitos se llenaron y vaciaron en periodos de tres meses; sólo se observó un aumento de viscosidad sin experimentarse variaciones en la calidad del producto almacenado. Las pérdidas por evaporación fueron del 1 por 100 y las pérdidas por fugas prácticamente nulas. El coste de la instalación incluyendo las tuberías, bombas y demás, fue del orden de 0.20 por barril.

Sobre las técnicas del control automático de producción, habló W. R. Scrimes, de la Imperial Oil Ltd., Canadá, quien describió los trabajos realizados durante seis años, sobre útiles y aparatos de control automático y dijo: que el control automático de la producción puede ser económicamente integrado en un sistema de modernos contadores electrónicos, que computarán los datos técnicos.

Un geólogo de Omán, Oriente Medio, disertó sobre los trabajos de exploración del Norte de Sahara. Otros documentos trataron de la química del petróleo.

Sobre el origen del petróleo, se presentaron diferentes teorías.

Un grupo de científicos mantienen la teoría de que plantas y animales

fósiles son el origen directo del petróleo, mientras otros afirman que la causa original es reacciones químicas complejas en el interior de la tierra. Presentaron documentos el Dr. W. E. Hanson, de la Gulf Research and Development Co., Mellon Institute de Pittsburgh y Dr. M. Louis, del Instituto Francés del Petróleo, Francia.

La teoría presentada por Dr. J. Gordon Erdam, del Mellon Institute, se basa en que los métodos de reconocimiento se deben fundar en características observadas de las rocas que han suministrado petróleo en cantidad, en oposición a aquellas que no lo han tenido nunca, existiendo en la naturaleza muchas gradaciones intermedias entre estos dos extremos, se piensa que solamente de la relación cuantitativa del origen de los sedimentos se puede llegar a conocer los orígenes de su formación.

Características importantes de los componentes del petróleo, están ausentes en los sedimentos recientes, incluso en los pozos que llegan a la zona de actividad bacteriana. Su formación se cree que tiene lugar a una gran profundidad a través de complejas reacciones químicas y bacterianas.

El Dr. W. G. Meinschorn, de la Esso, argumenta que plantas y animales fósiles son la fuente directa del petróleo del mundo. La transformación de materia orgánica en los componentes del petróleo no debe aparecer como la función esencial de las rocas madres. Despreciando las modificaciones bacterianas y la reordenación de los productos no saturados, que aparentemente ocurre inmediatamente después de la deposición de las plantas y animales fósiles en los sedimentos, el importante proceso en la formación de depósitos es probablemente de naturaleza física.

Basándose en la teoría del Dr. Erdman, E. B. Bray y E. D. Evans, de la Magnolia Petroleum Co., dijeron que: El análisis de numerosas muestras de sedimentos recientes, indica que las moléculas de número impar de átomos de carbón predominan en las parafinas pesadas, después de los primeros miles de años después de su deposición; sin embargo, en los sedimentos más antiguos, el análisis de un número limitado de muestras de rocas madre, no indican preferencia de las parafinas pesadas por moléculas con número par o impar de átomos de carbono. Hidrocarburos líquidos y sólidos libres, parecidos a los del petróleo, se encuentran prácticamente en todas las rocas sedimentarias según J. M. Hunt, de Jersey Production Research Co. (Tulsa). Las cantidades varían desde algunas partes por millón en depósitos continentales, hasta varios miles de partes por millón en pizarras bituminosas de origen marino. Asociados con este petróleo hay otros dos tipos de materia orgánica, uno soluble, llamado asfalto, y otro insoluble en materias pirobíbituminosas, llamado keroseno. Una pizarra bituminosa típica tiene 90 por 100 de keroseno, 7 por 100 de asfalto y 3 por 100 de hidrocarburos solubles.

El Dr. Meinschein dijo que comparando los hidrocarburos de los depósitos naturales, con los hidrocarburos procedentes de la roca madre,

se supone que han sufrido una fraccionación (destilación fraccionada) ocurrida durante su emigración desde la roca de origen al depósito.

El Dr. Abelson, del Geophysical Laboratorio de Cornegie Institución Washington, dice que el keroseno es el resultado de mutuas reacciones químicas entre los constituyentes de los seres vivos: hidratos de carbono, proteínas, lipoides, etc. Los hidratos de carbono son un factor importante y la reactividad de los grupos de aldehidos libres, en condiciones ligeramente alcalinas, es de suma importancia; por ejemplo, la glucoosa reacciona rápidamente a 50° C. con los grupos aminoácidos y las proteínas.

Otros estudios de Y. Khalifeh y M. Louis del I. F. P. de París describen el esfuerzo realizado para encontrar un método sencillo para distinguir entre las rocas madre y la roca almacén, y estas distinciones se basan en el grado de oxidación.

Treinta y tres años y más de un millón de dólares se han gastado en estudios de investigación de los hidrocarburos que componen un simple barril de crudo, según Frederick D. Rossini and Benedict J. Mair, del Carnegie Institute of Technology de Pittsburgh, que han realizado el proyecto para A. P. I., todo este trabajo, dinero y tiempo han logrado solamente identificar 169 hidrocarburos, de más de un millón que se calcula que existen.

Los científicos e investigadores han usado todos los inventos de la ciencia moderna, aunque frecuentemente, han tenido que inventar su propio equipo de destilación y los procedimientos para realizar su trabajo, que actualmente continúa:

G. H. Cloud, de Jersey Production Research Co. y W. T. Know, de la Esso Research and Engineering Co., subrayó que con 2.000.000 de artículos técnicos y científicos que se publican cada año, «es imposible para cualquier técnico buscar toda la literatura original relacionada con este trabajo». El encontrar información, se recomendó a las compañías de petróleo, así como la selección de científicos o ingenieros, de reconocida capacidad, que prefieran a trabajar sobre escritos, hacerlo en el laboratorio; su responsabilidad sería encontrar la nueva información que puedan obtener relacionada con este trabajo.

L. C. Stevens, S. F. Bird y J. J. Justin, de Mobil Oil, de Canadá, reveló que los métodos modernos de producción salvaron al Pembina Field, uno de los mayores campos de Norteamérica, de ser clasificado como «casi» seco. Esto se hizo por fracturación de las rocas por presión hidráulica, rellenando las fracturas con arena.

Un segundo programa es llenar con agua las zonas explotadas, para mantener la presión de explotación del resto del yacimiento.

Al problema de la fabricación de grasas para la aviación supersónica y las plantas de fuerza nuclear fueron tratados por L. C. Bunstoom, de la Standar Oil Company (Indiana). Dichas grasas deben soportar temperaturas superiores a 500° F. e inferiores a 65° F. teniendo que resistir las radiaciones. Algunos problemas se han resuelto con el uso de espesa-

dores no jabonosos, pero la demanda aumentará. El próximo paso será que resistan temperaturas de 700°.

Otras conferencias versaron sobre los nuevos procesos de fabricación de ácidos aromáticos para plásticos y pinturas, mezclados con los compuestos sulfúricos en los crudos del Oriente Medio, mejorando los métodos de las Compañías de petróleo por la investigación.

También se discutió, en geología, la determinación de la edad absoluta de las rocas sedimentarias, estratigrafía de la cuenca del Oeste del Pakistán y las posibilidades petrolíferas de las principales cuencas sedimentarias del Irán.

Se llamó a los petroleros americanos para asumir el papel de precursores en el movimiento hacia unas normas internacionales comunes de la industria del petróleo.

Col S. J. M. Auld, director europeo de Alco Products Inc. (London), dijo que la responsabilidad de ser los líderes debe recaer sobre los Estados Unidos, porque este país es, el mayor productor, tiene más refinerías, y consume más petróleo del mundo.

En la industria europea dijo: la estandarización en una escala internacional, tiene un importante papel que jugar para alcanzar el nivel medio de vida en un mundo acosado por un crecimiento explosivo de población.

Estandarización no es un asunto privado, sino un código de entendimiento y operación conjunta entre el fabricante y el consumidor con el propósito de obtener manufacturas para lograr un buen nivel medio de vida.

Los beneficios del consumidor debidos a esta estandarización son asegurarles el mayor rendimiento al dinero gastado. Los beneficios del fabricante serán el mantener los costes de producción y venta mínimos para mantener y agrandar al consumidor.

La estandarización internacional cubrirá una gama de operaciones que incluye un lenguaje técnico común y métodos comunes de testificaciones y medidas.

La industria está convencida de esta serie de ventajas, desde la segunda guerra mundial, pero es necesario llevar a la práctica estas convicciones. Una dinámica dirección por parte de los Estados Unidos es la respuesta a este letargo. Aceptar esta dirección no era únicamente deber de América, como la más potente industria, sino también era interés de los países exportadores de bienes y servicios a la creciente población del mundo. Col Auld preguntó si los petroleros de todo el mundo brindarían su apoyo a la International Standards Organization que define como «federación verdaderamente internacional de muchos cuerpos estandarizados alrededor del mundo».

Siete años después de haber comenzado la búsqueda del petróleo, el Sahara está clasificado entre las 10 primeras áreas petrolíferas del mundo, dijo R. Battin, director de Petroleum Society de Africa Ecuatorial Francesa; afirmó que cerca del Oriente Medio, Africa era el área donde la exploración actual es más eficaz.

La investigación de petróleo en Africa ha tenido un buen comienzo. El trabajo se está extendiendo a todas partes, se empezó en las regiones costeras, por razones económicas, pero ahora, gracias a los resultados obtenidos en el Sahara las prospecciones se han llevado hasta el corazón del continente. También dijo que supone que las reservas del Sahara eran seis veces mayores que las del restante territorio africano.

Resumió la historia del desarrollo de cuatro áreas productivas: Ahnet, Edjeleh, Hassi Messaoud y Hassi Ra'Mel. La última es una de la mayores del mundo. Actualmente se están estudiando varios proyectos de transporte desde este campo, y pasará mucho tiempo antes de que el Sahara sea realmente comparable con el Oriente Medio y los presentes esfuerzos, deberán continuarse antes de que tal comparación pueda ser hecha.

No intentó, disimular los costes de exploración en el Sahara, de los cuales los de transporte representan una gran parte, al menos un 20 por 100. Sin embargo, cada día trae pruebas de descubrimientos realizados, en zonas alejadas en las que se era pesimista.

Me gustaría que compartieran mi firme creencia, de que Africa, en los últimos tres años, ha llegado a ser uno de los países petrolíferos principales del mundo. Creo firmemente en la necesidad de mejorar las condiciones de vida de los países poco desarrollados.

La industria del petróleo, dijo, tiene un importante papel que jugar en la mejora de vida, aunque algunos puedan decir que es el castigo de su importancia, yo más bien diría que tiene que ser el precio de su poderío.

El petróleo ha contribuido a la prosperidad de muchos países. En lo que concierne a los países africanos, me parece que esta contribución podría mejorarse todavía.

Día 4 de junio.

El Dr. J. C. Zimmer, de la Socony Mobil dijo: La gasolina que se compra hoy es más eficiente que la de antes, porque los científicos del petróleo han aprendido a separar la naturaleza compleja de los productos químicos de los carburantes y comprobar el rendimiento de los mismos.

Los componentes químicos de la gasolina que producen un alto poder de expansión son retenidos para ayudar a llevar la alta función requerida a los modernos motores de gasolina.

Hoy nuestras refinerías no se limitan a dividir el crudo en fracciones ligeras y pesadas y obtener unos pocos constituyentes; las modernas refinerías son plantas complejas de conversión química, que cambian radicalmente la naturaleza química de los productos que refinan. El resultado es un gran incremento en el rendimiento de los combustibles.

La energía atómica puede quizás desplazar al petróleo, y otros combustibles anticuados, en grandes instalaciones, como centrales eléctricas

y plantas generadoras de calor, dijo el Dr. Zimmer, pero para los automóviles un reactor nuclear es inadecuado y quizás peligroso.

Describió los avances en la utilización de los productos del petróleo. Aproximadamente el 40 por 100 de las necesidades de energía en el mundo se obtiene del petróleo.

La energía efectiva obtenida de este billón de toneladas anuales de consumo, se puede aumentar mucho con ligeras mejoras en la calidad y utilización del producto.

El uso de aditivos químicos puede también mejorar la potencia de los productos petrolíferos, productos químicos especiales se añaden hoy a casi todos los productos petrolíferos, que los mejoran considerablemente.

El incremento en el uso de coches económicos, acentúa las ventajas obtenidas en el rendimiento de la gasolina, muchos consumidores han observado estas mejoras en el poder de la gasolina, porque hoy se está usando en vehículos pesados con mucha potencia.

La gasolina usada en 1909 era simplemente el producto de una primera destilación en la operación de refinación del crudo, sin embargo, la gasolina actual está reforzada con muchos compuestos obtenidos en el refinado e incrementada con aditivos especiales, que incrementan su rendimiento de forma que se ha comprobado que con dos galones de la gasolina actual se realiza el mismo trabajo, que con tres galones de la que se utilizaba hace veinte años.

Se han presentado 30 documentos que trataban de proyectos de motores, estudio de combustión, lubricantes, asfaltos, aditivos químicos y especialmente estudios de la tecnología de los productos del petróleo.

Alrededor de la mitad de los documentos versaron sobre aditivos y tratamientos químicos.

Se puede decir que usando procedimientos de inyección de fluidos, el petróleo obtenido de los pozos se puede aumentar en un 100 por 100, afirman George Roberts en su trabajo «inyección de fluidos para incrementar la producción de petróleo» y Scott W. Walker, de Pan American Petroleum Corp. casi los 2/3 del petróleo encontrado en Estados Unidos no se podría explotar por métodos primarios y, sin embargo, puede recuperarse por inyección de fluido. En los próximos cincuenta años, con estos procedimientos se conseguirá una producción adicional de 85 billones de barriles de petróleo, la misma cantidad que se espera obtener por producción primaria.

Los métodos de inyección de fluidos empleados en esta producción adicional son: Inyección de gas natural, inyección de gas a presión, inyección de agua y métodos térmicos. Una comunicación presentada por Takado Fuchida, profesor de la Universidad de Tokio, indica cómo se han hecho los ensayos del método térmico en el laboratorio y en el campo.

El estudio ha mostrado que para el éxito del método térmico se requiere: 1.º que el petróleo sea bastante pesado para contener el frente de fuego y 2.º que dentro de este límite la mayor eficacia de los efectos

combinados del calor y de la inyección en un sistema patrón es mayor cuando el petróleo es más ligero.

Otros documentos trataron de avances técnicos y económicos para producir gasolina de elevado índice de octanos de cualquier tipo de crudo, desarrollando fórmulas que describen en lenguaje matemático las más importantes reacciones químicas que se verifican en el proceso catalítico de fabricación, contadores electrónicos modernos han contestado a muchas preguntas que habían eludido los científicos. Este documento lo presentó H. G. Krane y A. B. Groh, de Standar Oil Co. y B. L. Schulman y J. H. Sinfelt, de la Esso Research and Engineering Co.

Otro trabajo presentado es el de Herbert P. Woodward, de Bataafche Petroleum Maatschappij Netherlandes, sobre la región de los Apalaches, en Estados Unidos. —El área donde en 1859 se descubrió el primer pozo de petróleo— diciendo que esta región de los Apalaches puede todavía contener petróleo, puesto que no han sido aún investigadas sus estructuras en la región central; la proximidad a la costa del golfo y el alto grado de sus aceites, son nuevas ventajas estratégicas, conceptos de geología estructural que suministran nuevas ideas para la exploración.

Hasta 1900 esta región había suministrado el 75 por 100 del total del petróleo de Estados Unidos, y hoy es menos del 1 por 100 de la anual de U. S. A.

En el documento presentado por Giulio Balabio, de Milán, se habla de nuevas factorías que fabrican una gran variedad de materias derivadas del petróleo. La industria petroquímica italiana está estudiando nuevos plásticos de excepcional resistencia mecánica, alto reblandecimiento y punto de fusión que son fabricados por polimerización controlada y un producto de dos diferentes materiales, un etileno propileno, copolímero que tiene gran importancia entre las gomas sintéticas.

Otro documento presentado por K. K. Sahni, del Ministerio de Minas y Combustibles de la India, dice que mientras la India esté entre los menores consumidores de energía, su pueblo progresa social e industrialmente y la demanda de energía aumenta constantemente. El problema es ahora doble: encontrar más petróleo para la demanda y establecer el equilibrio entre la producción y el consumo de primeras materias.

Día 5 de junio.

Cinco científicos soviéticos, en una comunicación para la sesión técnica de esta mañana, descubren los métodos de física nuclear que se están empleando para la detección de gas y petróleo en la prospección y producción en la U. R. S. S.

Las testificaciones radioactivas se están empleando ampliamente en la Unión Soviética para la investigación de gas y petróleo; según el documento también se usan los isótopos radioactivos para determinar las condiciones técnicas de los pozos.

William E. Mott, jefe de la sección de física nuclear de Gulf Research and Development Co., y Nicholas M. Ediger, geólogo jefe de British

American Oil Co., indican que durante los pasados veinte años, las testificaciones nucleares han llegado a ser una de las más importantes aplicaciones de los principios de la física nuclear en tiempo de paz, aunque el desarrollo se puede considerar aún en sus principios.

Uno de los últimos adelantos en el empleo de la física nuclear en los sondeos, se presenta en un documento de A. H. Youmans y C. Z. Zinimerman, de Well Surveys Inc. Esta técnica consiste en un bombardeo rápido de oxígeno en el taladro que produce una radioactividad artificial que indica la presencia de petróleo.

En otra sección, Roy W. Sudhoff, de la Chemstrand Corp., discutió la importante contribución que la industria del petróleo ha aportado a la industria de fibras sintéticas. Según el autor, la mayor proporción de fibras sintéticas del mundo han sido basadas en los derivados del petróleo crudo: metano, butano, ciclohexano y fracciones aromáticas. Desde la introducción de estos materiales, hace veinte años, la industria de fibras sintéticas se ha caracterizado por su rápido crecimiento.

También se habló de las mejoras en el equipo casero de calefacción por petróleo y por tanto de su coste. Robert L. Weeks y L. Clinkenbeard, de la Esso, dijeron que actualmente no era factible económicamente modificar al sistema de fuel-oil para calderas de hogares, pero que se han instalado en plan de pruebas equipos en 21 casas de New Jersey, los que se espera indiquen rápidamente el camino práctico para una mayor economía.

Los cambios en los equipos se basan en más completa mezcla de aire y fuel-oil y ajustar el quemador en el cual el aceite es quemado.

Wej Broom y C. A. Roast, de la Esso Petroleum Co., de Londres, disertaron sobre el incremento del uso del fuel-oil residual para usos industriales, en toda Europa, desde la última guerra mundial. La disminución de carbón en la postguerra obligó a gran número de experimentos con quemadores de aceite, particularmente en las industrias que requieren procesos de alta temperatura. Con las ventajas económicas de combinados del calor y de la inyección en un sistema patrón es mayor, los quemadores de aceite eran evidentes, más y más fábricas convertían los hornos para fuel sólidos o gaseosos, con el resultado de cambiar el mercado en Europa del fuel-oil.

SEGUNDA PARTE—RESUMEN DE COMUNICACIONES

A continuación y según habíamos indicado, haremos un nuevo resumen de las comunicaciones presentadas al Congreso, esta vez agrupadas por secciones.

SECCIÓN I.—GEOLOGÍA Y GEOFÍSICA

La sección primera, Geología y Geofísica, era la más cargada, agrupando 58 comunicaciones presentadas por 21 países diferentes; esto produjo serias dificultades en la organización de las secciones, ya que al-

gunas trataban problemas que se superponían. De una manera general en este Congreso se puede decir que las descripciones de campos han ocupado mucho menos espacio y, en cambio, se da importancia creciente a los problemas fundamentales, papel de la sal en la acumulación del petróleo y a los problemas de sedimentología y geoquímica.

Los artículos relativos a la geología regional se refieren generalmente a nuevos campos todavía mal conocidos. Para Europa, las cuencas de Viena, Yugoslavia, Sicilia con el campo Fragua, etc.

Una visión de conjunto de las grandes regiones petrolíferas de la U. R. S. S. muestran la importancia de las plataformas plegadas en la acumulación del gas y del petróleo, región del Volga y de los Urales, etcétera; respecto a Asia, se exponen trabajos sobre estratigrafía de la cuenca del Indo, en el Pakistán, y sobre las posibilidades petrolíferas de la India. África ha retenido la atención particular de los participantes y las comunicaciones han suscitado un gran interés. Respecto a la América Latina, se han publicado documentos sobre los descubrimientos recientes en el Perú, las posibilidades petrolíferas de Argentina y del Brasil y algunos campos de Venezuela.

Hay algunos artículos que exponen el empleo de métodos microestratigráficos.

Se manifiesta una cierta tendencia a buscar métodos directos o indirectos para detectar hidrocarburos, así como para aumentar el potencial de las posibles reservas por un mejor conocimiento de los problemas.

Respecto a la Geofísica, solamente hay tres comunicaciones sobre técnicas geofísicas propiamente dichas; la mayor parte de ellas se refieren a la aplicación de diversos métodos geofísicos, a casos particulares de exploración. Desde este punto de vista geofísico, algunas comunicaciones presentan interés particular.

En Rusia parece que se ha hecho un esfuerzo particular para estudiar los métodos directos de detección de petróleo, Geoquímica, Radiometría, aunque estos trabajos todavía no han aportado muchos resultados.

El Telúrico y los métodos eléctricos han sido frecuentemente empleados. Ciertos estudios de cuencas han conducido a efectuar sondeos de refracción a gran profundidad, de investigación (30 a 40 kilómetros). Las dificultades se han encontrado en los estudios por sísmica de reflexión de regiones de débil buzamiento.

En algunas comunicaciones se ha descrito el progreso de los métodos de toma de testigos de pozo, destacando el empleo de calculadores electrónicos en la interpretación, en particular para resolver los problemas de correlación.

También se ha hecho la historia del empleo de las sísmicas de refracción en el Sahara norte y se muestra el interés del método para un reconocimiento rápido de una vasta región con débiles buzamientos, donde las estructuras petrolíferas estén en relación estrecha con la superficie de erosión del Escudo.

Hay que insistir en el dominio de la posible exploración de las cuencas marinas dando nuevas perspectivas de descubrimientos de campos apoyados en la producción actualmente conocida de la costa de California y del Golfo de Méjico o sobre la geología de las cuencas de la costa este atlántica de los Estados Unidos. La intensificación de los sondeos marinos encuentra su justificación en las producciones, estimadas sólo para la costa californiana en 585.000 millones de metros cúbicos, para una superficie de 5.000 kilómetros cuadrados, con fondos que no excedan de 90 metros.

También se aportan informaciones nuevas sobre el papel de la sal en las acumulaciones de petróleo. Ejemplos tomados de Alemania, Estados Unidos o Africa, muestran el papel diferente de la sal según su espesor, variable a menudo, de acuerdo con las condiciones originales de depósito. Los autores muestran que un análisis muy detallado permite conocer las deformaciones de la sal según los movimientos paleotectónicos que han afectado a la cuenca. Las finas discordancias, las fallas que resultan de estas deformaciones pueden difícilmente ser puestas en evidencia por la sísmica, estudios microestratigráficos muy detallados, establecidos sobre microfaunas, son las únicas que pueden descubrirlo.

Desde el punto de vista de las condiciones del depósito de las evaporitas, L. Sloss distingue entre las formaciones autóctonas constituidas esencialmente por sulfatos y los depósitos de cuencas, esencialmente cloruros, el petróleo está generalmente asociado a los depósitos sulfatados. Las evaporitas depositadas autóctonamente están en pequeños bancos, mientras que los depósitos del centro de las cuencas con espesores variables no están asociados a formaciones calizas.

En el curso de un simposium sobre los carbonatos, se ha puesto de evidencia la relación entre la textura de la roca directa o indirectamente ligada a sus propiedades de porosidad y permeabilidad, y las condiciones originales que han determinado su repartición geográfica en una cuenca en el momento del depósito. Dos artículos importantes se han presentado sobre esta cuestión: uno consagrado al depósito de la cuenca actual al sur de Cuba, y otro a los depósitos carbonatados, paleozoicos del Canadá occidental. El primero muestra una cuenca poco profunda, de ocho metros de fondo, en el que existe una correlación entre la distribución de los organismos vivientes, y la forma y el tamaño de los granos de caliza, la cantidad de cemento calizo que une los granos, y las condiciones oceanográficas, físicas y meteorológicas (vientos dominantes, corrientes, etc.).

Los autores han puesto en evidencia ocho tipos de depósitos cuya repartición está representada en una serie de mapas que permiten establecer correlaciones entre la naturaleza de los depósitos, el tamaño de los granos y los organismos.

Otro artículo muy importante está consagrado al estudio detallado de formaciones de algas y de estromatoporas del Devoniano Superior y del Missisipiense, que encierran las principales reservas de petróleo en el Canadá. Las conclusiones que se desprenden de estos estudios, están

basadas en exámenes petrográficos muy detallados, relativos a la forma y tamaño de los granos, en el desarrollo del cemento, en las vacuolas y en las consecuencias del desarrollo normal de la porosidad intercristalina o de las vacuolas.

El problema se ha tratado, a partir de las secciones verticales que muestran depósitos ligados a movimientos de la cuenca, en el curso de un periodo determinado. En el caso particular del domo de Moose, las capas del Missisipiense permiten seguir en esta época las variaciones laterales de la litofacies en la cuenca.

La idea expresada en un caso considerado es que las aguas intersticiales dolomitizantes se escapan de los sedimentos más compactos hacia los depósitos carbonatados más permeables. Las rocas se volverían dolomíticas porque en un principio fueron permeables; más que permeables porque eran dolomíticas.

Esta cuestión de las dolomías se discutió en la comunión francesa presentada por Essorep de I. F. P.

El ejemplo de Parentis, en Aquitania, muestra que las propiedades del yacimiento de este campo están estrechamente ligadas al desarrollo de las dolomías en las diferentes partes de este depósito, dividido en siete zonas idénticas. La irregularidad de la repartición de estas dolomías conduce a considerar la formación compuesta por varios depósitos separados, lo que está expresado en un conjunto de diagramas y un mapa de repartición regional. Se trata sobre todo de la repartición en volumen de la dolomía en el depósito y de los efectos que ha producido el drenaje. De abajo a arriba se distinguen tres conjuntos dolomíticos: 1 por 100, dolomía inferior compacta y extensiva del Jurásico inferior; 2 por 100, dolomía principal del Cretáceo inferior, repartida más irregularmente, muy fracturada; 3 por 100, dolomía superior especialmente repartida en la parte sur de este campo, mostrando apófisis estrechas. Estas dos últimas dolomías deben ser consideradas como epigenéticas.

Una parte de una comunicación presentada por el Instituto Francés del Petróleo está consagrada al estudio sistemático de las dolomías de origen fisural. Se han escogido ejemplos en los Alpes y en Provenza, que muestran que este tipo de dolomitización ha podido ser muy tardía. La fisuración que resulta de las acciones tectónicas ha facilitado la circulación de fluidos ricos en magnesio y calcio. Esta fisuración se orienta sobre direcciones tectónicas regionales. La forma de estos accidentes dolomíticos muestran que la permeabilidad original de las formaciones carbonatadas atravesadas, determina la circulación de los fluidos dolomitizantes.

En el plan de la investigación fundamental, G. Baron y Favre presentan los resultados de las investigaciones experimentales que han permitido realizar la síntesis de la dolomía y definir el dominio de precipitación, estas síntesis han sido realizadas a partir de soluciones de cloruro de calcio y de magnesio y adiciones de iones CO_3 a 150° C, bajo una presión de CO_2 de 5 kilos por centímetro cuadrado. El estudio sistemático y riguroso de la precipitación de los carbonatos dobles mues-

tra que la síntesis de la dolomía está ligada a 5 parámetros que presentan entre ellos factores de dependencia: presión de CO_2 , temperatura, sistema de cristalización de los carbonatos simples, pH de la solución, relación $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ de las soluciones. Estas relaciones son expresadas en diagramas. Se define el campo de existencia de la dolomía en el diagrama de presión CO_2 partido por temperatura. La sedimentología en relación con la prospección ocupa un lugar relativamente importante en el problema de esta sección primera. Muchas comunicaciones están totalmente dedicadas a destacar la importancia de estos problemas en la repartición de los campos.

R. Levorsen insiste, a propósito de las tendencias de exploración en el futuro, sobre la necesidad de una mejor comprensión de la geología de las cuencas y de los elementos que han contribuido a la formación de trampas estratigráficas. El porqué del petróleo no se puede concebir más que en el cuadro de la cuenca sedimentaria donde se ha formado.

Este aspecto de la prospección con mapas de facies es también abordado por L. Sloss al tratar de los depósitos de evaporitas. Ciertos niveles productivos han podido ser supuestos *a priori*, según la repartición estratigráfica de ciertos tipos de evaporitas estrechamente asociadas a ciertos depósitos carbonatados. El autor expone con detalle la repartición de los constituyentes del ciclo marino completo, desde los depósitos calizos puros hasta las sales potásicas, situando las primeras en la periferia de la cuenca. En el análisis regional de las cuencas sedimentarias, la distribución general reconocida de las evaporitas y de los depósitos equivalentes «no evaporitas» conduce a la presunción de que niveles de «carbonatos de elevada energía», los arrecifes o las zonas dolomitizadas, se sitúan entre los dos.

Otro aspecto más particular de la relación entre la litología y los hidrocarburos está expuesto por A. Carrigy al tratar de las arenas de Athabasca, en el Canadá, que constituyen la mayor reserva del Mundo. Se admite generalmente que los asfaltos fijados en estas arenas cretácicas discordantes con el Devoniano vienen de calizas de esta edad geológica. Un estudio sistemático establecido según los cortes expuestos en los valles, permite reconstruir la historia geológica de la región por medio de mapas de facies y un esquema estructural que refleja la superficie de erosión anterior al depósito de las arenas. Las arenas son clasificadas según su granulometría y existe una relación entre ésta y su proporción en asfalto, aunque lavados posteriores hayan podido provocar empobrecimientos o enriquecimientos parciales.

Ciertos fenómenos sedimentológicos son descritos en zonas particularmente complejas desde el punto de vista tectónico, como en Sicilia. Se trata de deslizamientos submarinos caóticos que se manifiestan sobre la pendiente de los geosinclinales.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *The Gulf of Batabano, a Modern Carbonate Basin*. C. C. DAETWYLER and A. L. KIDWELL (Jersey Production Research Company).
U. S. A.
- (2) *Deposition and Diagenesis of Some upper Palaeozoic Carbonate Sediments in Western Canada*. L. V. ILLING (Shell Oil Company of Canada).
Canadá.
- (3) *Contribution française à l'étude de la dolomitisation*. B. GARREAU (ESSOREP), O. L. DE CHARPAL, G. A. BARON, J. H. FAVRE, Y. GUBLER, L. MONTADERT (Institut Français du Pétrole) et P. E. ROUGE (C. F. P. A.).
Francia.
- (4) *The Structural Development of Northwest German Salt Domes and Their Importance for Oil Accumulation*. G. RICHTER-BERNBURG and Wolfgang SCHOTT (Amt für Bodenforschung).
Alemania.
- (5) *A Geological Appraisal of Present and Future Exploration Techniques on Salt Domes of the Gulf Region of the United States*. Michel T. HALBOUTY (M. T. Halbouty Oil and Gas Interests) and George C. HARDIN, Jr. (Independent producer and operator).
U. S. A.
- (6) *La Tectonique salifère du Bassin de Cuanza en Angola*. G. BROGNOX (Companhia de Petroleos de Angola), G. VERRIER (Petrofina en Angola) et P. MASSON (Petrofina).
Bélgica.
- (7) *Relationship of Primary Evaporites to Oil Accumulation*. L. L. SLOSS (Northwestern University).
U. S. A.
- (8) *Détermination de la comigration d'un pétrole et essai d'application aux gisements de Pointe-Clairrette et de Port-Gentil Corrélations avec la géologie du champ*. C. BERTUZZI et J. VIDAL (S.P.A.E.F.).
Francia.
- (9) *Tectonics and oil migration in the oil fields of the Gifhorn Trough/ NW Germany*. Franz HECHT (Deutsche Erdöl A. G.).
Alemania.
- (10) *Geochemical Analysis of Italian Oils and Asphalts*. Umberto COLOMBO and Giuseppe SIRONI (Montecatini).
Italia.
- (11) *Gela in Sicily, and Unusual Oil Field*. T. Rocco (AGIP Mineraria).
Italia.

- (12) *The Ragusa Oil Fields, Sicily*. F. T. KAFKA and R. K. KIRKBRIDE (Gulf Italia Company).
U. S. A.
- (13) *Evidence of Slump Phenomena (Olistostromes) in Areas of Hydrocarbons Exploration in Sicily*. G. FLORES (Gulf Italia Company).
Italia.
- (14) *The Geology of Oman*. D. M. MORTON (Iraq Petroleum).
Inglaterra.
- (15) *Oil Possibilities in the Sedimentary Basins of Turkey*. Cahit BRENTOZ and Zati TERNEK (Institute of Mineral Research and Exploration, Ankara).
Turquia.
- (16) *Geology and Oil Exploration of Israel*. Prof. LEO PICARD (Hebrew University, Jerusalem).
Israel.
- (17) *The Main Sedimentary Basins of Iran and Their Oil Possibilities*. B. MOSTOFI and E. FREI (N. I. O. C.).
Iran.
- (18) *The Geology and development of the Gachsaran field, Southern Iran*. F. C. P. SLINGER and J. G. CRICHTON (Iranian Oil Exploration Producing Company).
Iran.
- (19) *Stratigraphy of the Lower Indus Basin, West Pakistan*. M. DEAN WILLIAMS (Standard Vacuum Oil Co.).
- (20) *Petroleum Exploration of California Offshore*. Francis J. HARTIG (State Lands Commission, State of California).
U. S. A.
- (21) *Geology and Petroleum Development of the Continental Shelf of the Gulf of Mexico*. Gordon I. ATWATER (Consulting Geologist, New Orleans).
U. S. A.
- (22) *The Petroleum Potential of the Emerged and Submerged Atlantic Coastal Plain of the United States*. John E. JOHNSTON, James TRUMBULL (U. S. Geological Survey) and Gordon P. EATON (Wesleyan University Middletown).
U. S. A.
- (23) *Outlook for Petroleum Exploration*. A. I. LEVORSEN (Consulting Geologist, Tulsa).
U. S. A.
- (25) *Eugeosynclines as Potential Oil Habitats*. E. KUENDING N. V. De Bataafsche Petroleum Maatschappij).
Holanda.
- (26) *The Geology and Development of the Bolívar Coastal Field at Maracaibo, Venezuela*. H. D. BORGER and E. F. LENERT (Creole Petroleum Corp).
Venezuela.

- (27) *Petroleum Geology of the Four Corners Area*. James A. PETERSON (Shell Oil Co).
U. S. A.
- (28) *Specific Features of the Geological Structure of Platform Regions in the Soviet Union in Relation to Their Oil and Gas Saturation*. M. F. MIRCHINK (Institut de Géologie), A. A. TROFIMUX (Institut de Géologie et Géophysique) et K. R. CHEPIKOV (Académie des Sciences).
Rusia.
- (29) *Les recherches géophysiques dans la cuvette congolaise et leur interprétation (Congo-belge)*. Pierre EVRARD et Arie VAN WEELEDEN (Société Belge de Recherches Minières).
Belgica.
- (30) *Les champs de pétrole d'Afrique Equatoriale française*. G. PÉGAND et D. REYRE (S. P. A. E. F.).
Francia.
- (31) *The Significance of a Grain Size Classification of the Sands of the Mc Murray Formation, Alberta*. M. A. CARRIGY (Research Council of Alberta).
Canadá.
- (32) *Geology of the Maquín Oilfield in Eastern Peru and its Regional Setting*. Edwin KOCH.
Perú.
- (33) *Progress in Geophysical Methods for Prospecting for Oil and Gas in the U. R. S. S.* Ye. N. GODIN, M. K. POLSHKOV (Institut de Recherche des méthodes géophysiques et de prospection), I. A. RYABINKIN (Institut du pétrole Gubkin), V. V. FEDYNSKY (Ministère de la Géologie) et E. E. FOTIADY (Académie des Sciences).
Rusia.
- (34) *The Use of Amplitude and Frequency in Exploration Seismology*. P. N. S. O'BRIEN (British Petroleum Co.).
Inglaterra.
- (35) *Review of the Progress of Well Logging Since the 4th World Petroleum Congress*. H. G. DOLL, Maurice MARTIN and M. P. TIXIER (Schlumberger Well Surveying Corp).
U. S. A.

SECCIÓN II.—PERFORACIÓN Y PRODUCCIÓN.

Como en anteriores Congresos, la mayor parte de las técnicas de perforación y de producción de petróleo han sido objeto de numerosas comunicaciones, que se pueden clasificar de la manera siguiente:

- 1.º Técnicas de perforación y lodos de perforación.
- 2.º Técnica para preparación del sondeo para producción.
- 3.º Estudios termodinámicos.

- 4.º Técnicas de testificación y diagrfias eléctricas.
- 5.º Producción primaria.
- 6.º Producción secundaria.
- 7.º Economía y conservación del yacimiento.

Son las técnicas de perforación, producción primaria y secundaria las que representan la participación más importante.

Técnicas de perforación y lodos de perforación.

Sobre este tema se han presentado cinco comunicaciones: la primera de R. A. Joannesyan, que muestra que se está llegando a aumentar la velocidad de perforación gracias a un aumento de la potencia de las máquinas y a una disminución del diámetro del taladro. Los sondeos profundos pueden ser perforados por turbosondas de pequeño diámetro hasta $5'' \frac{1}{2}$ e incluso $4'' \frac{1}{2}$. Ciertos perfeccionamientos se han conseguido como turbinas, de materia plástica para las turbosondas.

Barrenas nuevas cuyos ejes no son sometidos al peso que soportan (lo que permite resolver el problema del rendimiento elevado con pequeño diámetro).

El aumento de la velocidad de perforación con pequeño diámetro y barrenas de diamante.

Los progresos realizados en la técnica de sondeos inclinados permiten perforar hasta tres pozos con una sola instalación.

Los métodos nuevos para perforación de sondeos profundos, basados en diversas fuentes de energía, están actualmente en vías de perfeccionamiento. La perforación con electroperforador y gas o aire, mejoran los fenómenos del fondo en condiciones difíciles.

El sondeo vibrorrotativo aumenta, en formaciones duras, los intervalos perforados por cada barrena.

El método de sondeos por explosiones puede ser aplicado a formaciones duras y profundas; una explosión continua y controlada elimina el empleo de útiles mecánicos.

Un nuevo método basado en el sondeo por choques hidráulicos producidos por descargas eléctricas a través de fluidos, está en curso de estudio y perfeccionamiento.

Por la ausencia de congresistas de Rusia no se han podido obtener detalles complementarios.

La utilización de aire o de gas como fluido de perforación muestra que se puede aumentar considerablemente la velocidad de perforación reduciendo el costo de ciertas operaciones; esta perforación por aire o gas se practica con las siguientes condiciones:

- 1.º Si el caudal del fluido de la capa es inferior a 3 galones por minuto (en caso de existir).
- 2.º Si el estado del agujero es muy bueno.
- 3.º Para atravesar capas duras
- 4.º Para evitar la invasión de las formaciones por el agua perdida por el lodo.

En lo que concierne a los sondeos profundos, debido al aumento de profundidades alcanzadas y a las condiciones severas de perforación, se ha impuesto el empleo de lodos. Los problemas principales de inestabilidad de las paredes del pozo están ligadas a las arcillas pizarreas que se derrumban en presencia del agua del lodo ordinario. Este agua no causa el hundimiento de las arcillas si la concentración del electrolito es de dos a cuatro libras por barril; por otra parte, las arcillas pueden además hincharse, volverse blandas y desintegrarse mecánicamente; estudios químicos de las propiedades superficiales de las materias arcillosas han conducido a un sistema de control de los lodos para que tengan un filtrado rico en calcio, asociado a un medio de alcalinidad determinada. Esta comunicación discute el fenómeno de la floculación controlada, así como la influencia de los medios dispersantes y floculantes sobre las propiedades del lodo y el espesor de la torta de revestimiento, presentando comparaciones entre los diferentes sistemas de lodos.

Preparaciones de sondeo para producción.

Sobre esta cuestión solamente se han presentado dos comunicaciones. La 1.ª relativa al campo de petróleo de Pembina (el mayor del Canadá), que está caracterizado por la baja permeabilidad de sus formaciones y una capacidad inicial de producción muy débil. Por fracturación hidráulica la permeabilidad ha aumentado en la proporción de 0,52 a 2,8 después del tratamiento. La producción primaria se ha efectuado por expansión de gas disuelto, con un factor de recuperación del $12 \frac{1}{2}$ por 100, mejorándose por inyección de agua y fluido miscible, con lo que se ha conseguido doblar la producción.

La segunda comunicación trata del origen y desarrollo de las fisuras en el curso de la fracturación hidráulica de una capa petrolífera, basándose en ciertas hipótesis físicas y métodos inherentes a la teoría de la elasticidad.

Estudios termodinámicos.

En lo que concierne a los estudios termodinámicos, una sola comunicación ha sido presentada, cuyo resumen es el siguiente: La relación única entre las razones de equilibrio vapor-líquido en el punto de rocío y la composición de los fluidos de gas y condensado, permite calcular las relaciones de equilibrio para los estados de fase límite. La razón de equilibrio vapor líquido es unitaria para todos los componentes de un fluido en estado crítico, pero se aleja de este valor a medida que aumenta la diferencia entre la temperatura considerada y la temperatura crítica. La ecuación permite calcular la relación de equilibrio teniendo en cuenta las temperaturas de los dos estados, para el punto de rocío y para el punto de ebullición. La composición de la fase líquida en el pun-

to de rocío ha sido determinada para siete fluidos a la temperatura del separador y del depósito, y ha permitido obtener uno de los parámetros requeridos en la ecuación de equilibrio. La tensión de vapor de los constituyentes de la temperatura considerada, se ha modificado para obtener otros parámetros. Los valores óptimos de todos los parámetros han sido calculados.

Técnicas de testificación y diagrfias.

Las comunicaciones presentadas en este Congreso sobre las testificaciones son muy escasas; en realidad se ha presentado una sola que trata del buzamiento aparente, dado por las tres curvas de tipo de microrresistividad, poco influenciadas por la acumulación de lodos o de la torta de revestimiento. La utilización de galvanómetros más rápidos han permitido velocidades de registro más grandes. Una evaluación visual es posible, y permite en muchos casos obtener inmediatamente la visión de ciertas tendencias generales. La interpretación completa y detallada ha sido simplificada y acelerada por el empleo de un comparador óptico.

Producción primaria.

Las comunicaciones relativas a los métodos de producción han sido numerosas (diez y ocho). En general se refieren más al drenaje de los campos que a los métodos de recuperación secundaria.

A. P. Krylop muestra que la eficacia económica del desenvolvimiento de los campos de petróleo se aumenta:

a) Escogiendo racionalmente el «espaciamento» (Spacing).

b) Por un aumento de la presión de inyección de agua en la puesta en explotación de los pozos.

c) Por una disminución de la presión de fondo de los pozos de producción puestos rápidamente en bombeo.

d) Por una reducción del «SKin effect» (tratamiento de lodos, fracturación hidráulica).

Una ley cuadrática de deslizamiento calculada numéricamente, ha hecho posible la explotación de los pozos de gas.

Giordano Lone y Gian Luigi Chieri (16) indican cómo han medido en su laboratorio las masas específicas de las soluciones de cloruros de sodio en el orden siguiente:

Salinidad de 0-300 g/l; temperatura 20-100° C. Presión 2-500 Kg/cm² y han establecido fórmulas que permiten calcular con precisión los valores de la masa específica y de la compresibilidad isotérmica del agua de yacimiento en las condiciones del yacimiento, los resultados obtenidos han sido aplicados a los casos siguientes:

a) Cálculo de la presión hidrostática ejercida por el agua dulce o salada en presencia de un gradiente vertical de temperatura, aplicación al cálculo de la presión teórica de un yacimiento.

b) Cálculo de comportamiento de yacimientos de gas rodeados por un nivel acuífero limitado, y en los cuales el gradiente de presión es constante en el tiempo.

En la comunicación (25) se estudia el efecto de las fuerzas capilares sobre el procedimiento de explotación con inyección de agua (Water drive), estableciéndose que con velocidad de desplazamiento baja, las fuerzas capilares provocan la formación de bolsas de aceite inmóviles.

A medida que la velocidad aumenta, las dimensiones de los bolsos disminuyen, y los rendimientos aumentan en la misma proporción.

Si la velocidad de desplazamiento aumenta todavía el rendimiento, comienza a disminuir si viscosidad-aceite/viscosidad-agua > 1, por la formación de «dedos» de agua.

A. Citueca en su comunicación (19) muestra que el campo de Parentis es un buen ejemplo de los problemas que presentan los depósitos carbonatados heterogéneos, exponiendo los mecanismos de recuperación en los diferentes tipos de rocas.

Imbibición de la matriz por el agua ascendente en la red de fracturas y vacuolas.

Inyección de agua (Water-drive) regida por las relaciones de permeabilidad del agua y del petróleo

Los factores que influyen en el mecanismo de imbibición son:

La adherencia preferencial de la roca al agua.

El espaciamiento de la red de fracturas y vacuolas.

Las características morfológicas de la matriz.

Las dimensiones de las fracturas.

La velocidad ascensional del agua en el sistema de fracturas y vacuolas.

Producción secundaria.

La industria petrolera ha tardado cincuenta años en admitir que la recuperación podría mejorarse. Gracias a ciertos conceptos fundamentales sobre el deslizamiento de los fluidos, y a ciertas teorías sobre la recuperación del petróleo que son aplicables a modelos homogéneos bien establecidos, la recuperación ha sido mejorada.

Los dos tercios aproximadamente del petróleo bruto descubierto en U. S. A. no pueden ser producidos por métodos primarios. Una parte de este petróleo puede recuperarse por inyección de fluidos.

C. Roberts J. R. y S. W. Waller en su comunicación (20) examinan los diferentes métodos de inyección:

Inyección ordinaria de gas.

Inyección de gas mejorada.

Inundación por agua.

Métodos térmicos.

La elección del método depende de las condiciones de la roca almacén y de la densidad del petróleo bruto.

Los tres primeros métodos son convenientes para petróleos de débil densidad ($d < 0.85 \text{ g/cm}^3$) y el cuarto se aplica a la recuperación de petróleos pesados y bitúmenes.

En lo que concierne a la inyección de gas, se han presentado dos comunicaciones y otras dos a los métodos térmicos (21 y 22).

La producción de petróleo bruto por combustión subterránea constituye un conjunto complicado de fenómenos físicos y químicos.

La primera comunicación trata de los ensayos de laboratorio, que dan una idea de estos fenómenos.

La segunda comunicación trata a la vez de las experiencias de laboratorio y sobre todo a pie de obra, destacando entre los factores importantes que controlan la producción, la movilidad relativa del petróleo y la energía dinámica disponible.

La movilidad aumenta bajo los efectos del calor y se pueden utilizar a la vez la combustión de una parte del petróleo como fuente térmica, y la energía dinámica del aire que se inyecta a presión para mantener la combustión.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *Economies of Offshore Petroleum Development in the U. S. A*. BOUWE DYKSTRA (Shell Oil).
U. S. A.
- (2) *Conservation of Oil and Gas in Texas*. General Ernest O. THOMPSON (Texas Railroad Commission).
U. S. A.
- (3) *Progress in the Theory and Gas Field Development in the U.S.S.R.* A. P. KRYLOV et col. (Institut de Recherche sur el pétrole et le gaz).
Rusia.
- (4) *Oil Shale, Energy for the Future*. Fred L. HARTLEY and Claude S. BRINEGAR (Unión Oil Company of California).
U. S. A.
- (5) *Some Special Features of Drilling Contracts Outside North America*. Th. J. VRINS (N. V. Bataafsche Petroleum Maatschappij).
Holanda.
- (7) *Progress in Turbodrilling and Study of New Drilling Methods in the U. R. S. S. R.* A. IOANNESYAN, M. T. GUSMAN, A. A. MININ, G. I. BULAKH, E. I. TAGIEV (Institut de Recherche scientifique des techniques de forage), N. I. ТИТКОС (Académie des Sciences), F. A. TREBIN (Comité d'Etat de R. S. F. S. R.).
Rusia.
- (8) *Air and Gas Drilling*. L. W. RANDERSON (Magnolia Petroleum Company).
U. S. A.

- (9) *Shale Controlling Fluids*. Walter J. WEISS, Wilbur L. HALL et Richard. H. GRAVES (Texas Company).
U. S. A.
- (10) *Problèmes de forage engendrés par des formations à haute pression dans la vallée du Po. Possibilité d'emploi des moteurs souterrains*. Cesare GAVOTTI (Agip Mineraria).
Italia.
- (11) *Drilling and Producing Operations in Lake Maracaibo*. Dr. F. G. G. BAPTISTA (Creole Petroleum Corp.), Dr. Luis ALCALÁ SUCKRE (Mene Grande Oil Co.), Dr. José DOMÍNGUEZ (Cia Shell, de Venezuela), et Paul CONRAD (Socony Mobil Oil Co. of Venezuela).
Venezuela.
- (12) *Oil Well Spacing. A Technical and Economic Analysis*. A. LANDONI et B. L. ASTIZ (Yacimientos Petroliferos Fiscales).
Argentina.
- (13) *Automatic Production Control*. W. R. SCRIMES (Imperial Oil limited).
Canadá.
- (14) *Reservoir Rocks, Fluids and Energy Systems of the Mutzen Field in the Vienna Basin*. A. KAUFMANN, L. KOELBLZ, H. KRATOCHVIL (Oesterreichische Mineralölverwaltung A. G.) et H. WIESENER (Université de Vienne).
Austria.
- (15) *The Pembina Oil Field, Alberta, Canada, An Example of a Low Permeability Reservoir*. L. C. STEVENS, S. F. BIRD, J. J. JUSTEN (Mobil Oil of Canada).
Canadá.
- (16) *Compressibilité et masse spécifique des eaux de gisement dans les conditions des gisements. Application à quelques problèmes de «réservoir engineering»*. Giordano LONG et Gian Luigi CHERICI (Agip Mineraria).
Italia.
- (17) *Controlled Reservoir Operations, A Case Study*. W. J. GREENWALD and H. H. MEREDITH, Jr. (Humble Oil and Refining Company).
U. S. A.
- (18) *La pende-gamètre continu à joteclnomètre*. J. M. BRICAUD et A. POUPON (Société de Prospection électrique).
Francia.
- (19) *Répartition des caractéristiques et facteurs influencant la récupération finale dans un réservoir carbonaté heterogène*. Antoine CHUECA (ESSOREFP).
Francia.
- (20) *Fluid Injection for Increased Oil Recovery*. George ROBERTS, Jr and Scott W. WALKER (Pan American Petroleum Corporation).
U. S. A.

- (21) *Laboratory and Field Experiments on Fire Flood Recovery Method.* Takado FUCHIDA (Teikoku Oil Company).
Japón.
- (22) *Mechanism of Oil Production by Underground Combustion.* H. J. TADEMA (Koninklijke/Shell Exploration and Production laboratories).
Holanda.
- (23) *Theoretical Principles of Hydraulic Fracturing of Oil Strata.* S. A. CHRISTIANOVITCH, V. P. KHELTOV, G. I. BARANBLATT et G. K. MAXIMOVITCH (Académie des Sciences de l'U. R. S. S.).
Rusia.
- (24) *Recovery Problems in a Fracture-Pore System: Kirkuk Field.* H. A. FREEMAN and S. G. NATANSON (Iraq Petroleum Company).
Inglaterra.
- (25) *Effect of Capillary Forces in the Water-Drive Process.* H. J. DE HAAN (Koninklijke/Shell Exploration and Production Research Laboratories).
Holanda.
- (26) *Phénomène de restauration en huile observé en Roumanie dans les gisements à Water-Drive.* Dumitry N. CODREANO, Raoul I. HAUER, Alexandru M. VERNESCO et Cheorghe N. ALDEA (Institut de recherche pour forage et exploitation, Campina).
Rumanía.
- (27) *Results of Gas Injection in the LL-370 Area, Lake Maracaibo.* P. N. WEIDNER and E. R. BOWER.
Venezuela.
- (28) *Relationship of Vapor-Liquid Equilibrium Ratios at Dewpoint Pressure to Compressibility Factors and Composition of Gas Condensate Fluids.* C. KENNETH EILERTS, Nora POTTS and Byron A. BAKER (Bureau of Mines).
U. S. A.
- (29) *Agua Grande, A Major Oil-field of South America with Unique Paraffin Problems.* G. C. BARROSO et I. B. DE CARVALHO (Petrobras).
Brasil.
- (30) *Recent Improvements and Development Work Concerning Oil Shale Processing at Kvarntorp, Sweden.* Edmund K. B. SCHJANBERG and Ake R. L. BRANDBERG (The Swedish Shale Oil Co.).
Suecia.
- (31) *A Graphical Solution of Fluid Coning Problems in Oil Production.* C. Pérez ROSALES, J. HEFFERAN VERA et E. G. LORETO MENDOZA (PEMEX).
Méjico.

- (32) *Future Performance of the Cretaceous Limestone of Lower Tamaulipas (Tamaulipas Field) as Controlled by Inert Gas Injection to Avoid the Static Pressure Declination.* R. RUIZ M., J. GÓMEZ S. et J. HEFFERAN V. (PEMEX).
Méjico.

SECCIÓN III.—TRATAMIENTO Y REFINO DEL PETRÓLEO.

Uno de los hechos dominantes que aparece a través de los trabajos presentados en la sección del «Refino», es, sin discusión, la importancia que toman y siguen tomando los procedimientos del tratamiento catalítico por hidrógeno. Aproximadamente un tercio de dichos trabajos, tratan de los diversos aspectos del hidrot ratamiento y de sus múltiples aplicaciones. La demanda creciente de productos de mejor calidad: gasolinas de alto índice de octano, carburantes Diesel de elevado índice de cetano, carburantes para reactores con un buen «punto de humo», coincide con una calidad decreciente de los petróleos brutos disponibles.

Teniendo en cuenta estos elementos, la industria petrolífera ha desarrollado los esquemas de refino más eficaces, y es en ellos donde los procesos de hidrogenación catalítica desempeñan un papel primordial. Este papel se ha desarrollado hasta tal punto, que el hidrógeno obtenido en un principio, a partir esencialmente del gas del «reforming» catalítico, ha empezado a resultar insuficiente y las refinerías necesitan instalaciones suplementarias para la producción de hidrógeno.

Es en los Estados Unidos donde estos procedimientos han tenido el desarrollo de mayor importancia; los trabajos de investigación y de puesta a punto de los procesos de hidrogenación o las nuevas aplicaciones pretendidas. Pero es importante señalar la aportación de los países europeos y, particularmente Francia, en esta materia, pues los trabajos que ha presentado aportan una contribución original.

La hidrogenación, tal como se utiliza en el refino del petróleo, se puede clasificar en tres tipos generales:

- 1.º Saturación, en la cual las olefinas, diolefinas, aromáticos, etc., son saturados mediante la adición de hidrógeno.
- 2.º Hidrogenación refinante, en la cual las reacciones más importantes son las que conducen a la eliminación de los derivados sulfurados, nitrados, oxigenados y, en cierta proporción, de los metales.
- 3.º Hidrocracking, en la cual predominan las reacciones de ruptura de las uniones C-C y la saturación de las moléculas más pequeñas que se han producido.

La mayor parte de las plantas comerciales son del tipo segundo y están destinadas especialmente a la «hidro-desulfuración» de las gasolinas y, en particular, de las cargas del «reforming» catalítico del keroseno y gas-oil.

El tratamiento de los aceites lubricantes ha sido igualmente objeto de

trabajos muy interesantes. Son estos tratamientos de dos tipos: procesos de acabado y procesos de refino.

En el proceso primero, que se aplica ya industrialmente, se efectúa la hidrogenación en condiciones suaves y con miras, principalmente, a la mejora de ciertas características, tales como el color y estabilidad.

Las modificaciones químicas, originadas por el hidrotatamiento, consisten, esencialmente, en la conversión de los residuos que han sido eliminados en su mayor parte, pero no totalmente en la extracción. Resulta de esto un ligero aumento de la cantidad de los productos de bajo punto de ebullición; las reacciones principales, son la desulfuración; siendo al parecer despreciables las de saturación de las bases aromáticas.

Se ha estudiado el tratamiento de los aceites lubricantes con el hidrógeno, reemplazado el tratamiento clásico, basado en la utilización del ácido sulfúrico y tierras decolorantes. Para ello se utiliza un nuevo catalizador, compuesto de óxidos de cobalto, molibdeno y hierro, depositados sobre aluminio, el cual presenta ventajas respecto al catalizador clásico de molibdato de cobalto.

En resumen: de los trabajos efectuados y de los estudios y análisis que se están realizando, podemos deducir dos directrices generales:

1.ª La importancia creciente del tratamiento catalítico con el hidrógeno en todos los estados del refino, principalmente para el tratamiento de los aceites.

Este tipo de proceso no se limita a la resolución de problemas particulares, sino que también se puede aplicar el tratamiento del petróleo bruto.

2.ª La necesidad de disminuir la cantidad de residuos pesados, ha originado nuevas técnicas y ha contribuido al desarrollo y evolución de las ya conocidas.

Un gran número de trabajos y estudios presentados sobre el tratamiento del petróleo, se han consagrado a mejorar el índice de octano de las gasolinas. Pues, se prevé, en los próximos años, un aumento del grado de compresión de los motores y, por lo tanto, del índice de las gasolinas.

Este problema no se plantea de la misma manera en Estados Unidos y en Europa. Los americanos hace algunos años observaron una disminución de la curva creciente de grado de compresión y esperan que el crecimiento actual de dicha curva se estabilice alrededor de los 11/1. En Europa, es probable que continúe el crecimiento de dicha curva de una forma más regular, se prevee para 1964 un grado de compresión de 9/1.

Por último, señalaremos que se ha señalado en varios trabajos la conveniencia de utilizar calculadoras electrónicas para determinar el proceso más adecuado de refino y las condiciones óptimas del tratamiento.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *The Refiner Looks at Cars of the Future*. J. A. NEVISON, C. D. WRIGLEY and L. J. TEST (Atlantic Refining Cy). U. S. A.
- (2) *Processing Needs for Higher Quality Fuels*. J. F. WALTER and M. J. STERBA (Universal Oil Products Cy). U. S. A.
- (3) *A New Isomerization Process*. K. P. LANNEAU, W. F. AREY (Esso Standard Oil Cy), S. F. PERRY, A. SCHRIESHEIM (Esso Research and Engineering Co.), and H. A. HOLCOMB (Humble Oil and Refining Cy). U. S. A.
- (4) *Reactions in Catalytic Reforming of Naphthas*. H. G. KRANE, A. B. GROH, B. I. SHULMAN et J. H. SINFLT (Standard Oil). U. S. A.
- (5) *Hydrogenation of Petroleum Fractions*. W. E. BRADLEY, G. W. HENDRICKS, H. C. HUFFMAN et A. E. KELLEY (Union Oil Company of California). U. S. A.
- (6) *Le procédé I. F. P. de raffinage hydrogénant de pétrole brut et de fractions pétrolières*. C. THONON, M. ALEXANDRE, M. VERWAERDE et G. LIMIDO (Institut Français du Pétrole). Francia.
- (7) *Catalytic Refining and Hydrodesulphurization of Minerals Oils*. C. PADOVANI, V. BERTI, D. SARTIRIANA et B. BOSONI (Società Petroliere Italiana). Italia.
- (8) *Studies on a Commercial Two-Stage Catalytic Cracking Plant*. C. A. REHBEIN, W. A. MITCHELL, R. A. WILSON (Shell Oil Cy) et W. V. MEDLIN (Shell Development Cy). U. S. A.
- (9) *Catalysts on the Basis of Acid-Activated Montmorillonites*. Werner FRANZ, Philipp GUNTHER and Carl E. HOFSTADT (Süd-Chemie A. G.). Alemania.
- (10) *Study of the Nature of Silica-Alumina Catalyst Activity*. K. V. TOPCHIEVA, G. M. PANCHENKOV, M. A. KALIKO, A. V. AGAFONOV, I. I. FIGUSOVA, N. M. KAMAKIN and YA V. MIRSKY. Rusia.
- (11) *Chemical Changes in Lubricating Oil on Hydrofining*. R. M. BUTLER and R. KARZMARK (Imperial Oil limited). Canadá.

- (12) *L'hydrogénation dans la fabrication du bright stock*. A. ACKER et B. CHOISNET (Esso-Standard).
Francia.
- (13) *Désaromatisation catalytique des distillats légers et raffinage hydrogéné des huiles lubrifiantes*. A. CHAMPAGNAT, J. DEMEESTER et C. ROUIT (Société Française des Pétroles B. P.).
Francia.
- (14) *Production of Lubrication Oils and Waxes from Sulphur Crudes in the U. R. S. S.* M. G. ZHERDEVA, A. A. KARASEVA, F. V. VOZNESENKAYA, B. B. KROL, I. A. MIKAILOV, D. I. OROCHKO, A. V. DRUZHININA, V. S. AKIMOV, A. E. ALTSHULLER.
Rusia.
- (15) *Dehydrogenation of Naphtenic Lubricating Oil Fractions*. T. F. BROW and P. MATHEWS (Lobitos Oil-field Ltd).
Inglaterra.
- (16) *Sweetening des produits pétroliers par oxydation catalysée par les colorants au soufre*. E. WEISANG et A. VALET (Compagnie Française de Raffinage).
Francia.
- (17) *Treating Aromatic By-Product Light Oils from Pyrolytic Conversions by the Basf-Scholven Process for Light Oil Refining*. Orlwin REITZ (Badische Anilin Soda Fabrik A. G.).
Alemania.
- (18) *Development in Treating Processes for the Petroleum Industry*. J. W. LE NOBEL and J. H. CHOUFOER (Koninklijke/Shell Laboratorium).
Holanda.
- (19) *Refinery Studies by Digital Computer*. H. F. LINDSAY and R. H. WULZEN (Tidewater Oil Company).
U. S. A.
- (20) *Etude des problèmes économiques du raffinage à l'aide de la théorie des programmes linéaires et des calculateurs électroniques modernes*. C. BERLINE et J. WELS (Société des Pétroles Shell-Berre).
Francia.
- (21) *Conjunct Polymerization of Ethylene with Heteropoly Acid Catalysts*. J. W. KLINKENBERG and H. J. WATERMAN (Delft Technical University).
Holanda.
- (22) *Extraction of Aromatics with Sulfolane*. C. H. DEAL, JR. H. D. EVANS, E. D. OLIVER and M. N. PAPADOPOULOS (Shell Development Cy).
U. S. A.
- (23) *Gasoline Upgrading with the Use of Selective Adsorbents*. Dr. G. R. BROWN, Jr., Dr. R. A. RIGHTMIRE et Dr. H. A. STRECKER (The Standard Oil Cy).
U. S. A.

- (24) *Elementary Processes of Mass Transfer in Extraction, Absorption and Distillation*. E. KROEPFELIN, H. J. NEUMANN et E. PRÖTT (Institut de Braunschweig).
Alemania.
- (25) *The Use of Gaseous Sulphur Trioxide in the Sulfonation of Petroleum Oils*. H. KAYE, E. FORSYTH et A. L. MILIS (Manchester Oil Refinery).
Inglaterra.
- (26) *Selective Hydrogenation Process for the Refining of Steam Cracker Gasoline*. P. T. WHITE, F. W. B. PORTER and A. A. YEO (British Petroleum Cy).
Inglaterra.
- (27) *25 Years Fischer-Tropsch Synthesis with Fixed Bed Catalysts. Present Status and Future Possibilities*. Heinrich TRAMM (Ruhrchemie A. G.).
Alemania.
- (28) *The Fluid Coking Process. Commercial experience to Date*. James MC DONALD (Tidewater Oil Company) and C. O. RHYS, Jr. (Esso Research and Engineering).
U. S. A.
- (29) *Processes for Continuous Thermocontact Treatment of Oil Stocks on Coke*. B. K. AMERIC, Y. A. BOTNIKOV, K. P. LAVROVSKY, P. V. OVSYANNIKOV, M. I. KORNEYEV, V. P. SUKHANOV et A. N. RUMYANSEV.
Rusia.
- (30) *Catalytic Processing of Residual Fuel Stocks*. R. E. BLAND, R. E. ASHWILL, J. B. MAERKER et W. J. CROSS (Houdry Process Corporation).
U. S. A.
- (31) *The Importance of Hydrosulphurization in the Processing Economy of a European Refinery*. G. DE SANCTIS, P. MESSENGIO, G. DISTANTE, G. PACINI et A. CAJO (Condor Società per L'Industria Petroliera e Chimica).
Italia.
- (32) *Solvent Extraction of Mineral Oils, Influence on the Selectivity of Solvents*. F. J. PASS, H. POLL et J. F. SCHUSTER (Institut de Technologie).
Austria.

SECCIÓN IV.- PRODUCTOS QUÍMICOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO Y DEL GAS NATURAL.

De todos los trabajos presentados se deduce que las principales directrices son las siguientes:

En primer lugar, los carburos aromáticos, para los cuales hay diferentes puntos de vista según los autores.

Unos han estudiado las aplicaciones del tolueno y xileno, que se producen en gran cantidad en las instalaciones del «reforming». Para obtener metilbenceno con 10 átomos de carbono o nafteno. Otros han investigado los ciclos de 5 átomos de carbono y proponen diversos métodos para pasar de las parafinas al ciclopenteno, o de las diolefinas al ciclopentadieno. Simultáneamente se han dedicado a buscar la forma de producir enlaces dobles y triples, por deshidrogenación de los carburos saturados.

Se ha presentado también un informe difícil de clasificar, que se titula «Procedimiento para recuperar azufre del gas de refinería». La preocupación de las autoridades de diversos países ha sido de purificar la atmósfera cercana a las plantas de refino, lo cual impide que se pueda quemar libremente el sulfuro de hidrógeno. Existen varios métodos para transformarlo en azufre; entre ellos citaremos el de Claus, utilizado en Lacq (Francia), que consiste en una oxidación parcial. Hoy día se estudia y está en vías de ensayo en los laboratorios, el proceso de las sales de hierro, mediante las cuales se oxida el sulfuro de hidrógeno por medio de una solución que recupera su oxígeno por regeneración en el aire. Las sales férricas utilizadas son las del ácido versénico. El uso de estas sales permite mantener las condiciones de pH, que evitan la precipitación del hidróxido férrico. Se ha tratado también de efectuar la desulfuración a 100° C, con objeto de evaporar el agua que se produce en la reacción; pero a esta temperatura, la oxidación del sulfuro de hidrógeno es reducida. Sin embargo, se ha resuelto esta dificultad, aumentando la concentración, y actualmente se prevee la puesta a punto de un procedimiento continuo. La ventaja sería poder efectuar en una sola operación la desulfuración del gas y la fabricación del azufre. Este proceso tiene el inconveniente de no resultar económico, ya que el azufre debe ser separado de la solución por filtrado y lavado.

La Sección IV del V Congreso Mundial del Petróleo, debería interesarse de los diversos aspectos del proceso: naturaleza de las reacciones químicas, concepción de las instalaciones y economía de la fabricación. Expondremos aquí el aspecto químico, el mejor expuesto, y a veces el único descrito en los informes. También trataremos de repasar las principales tendencias evolutivas de la petroquímica.

La petroquímica tiende a la fabricación de los productos químicos, partiendo de los diferentes hidrocarburos suministrados por la industria petrolífera: metano, etano, butano, olefinas, etc., por una cadena de reacciones de aquellos productos químicos, cuyas propiedades y aplicaciones son conocidas.

Los productos que se desean obtener son las materias primas de las fibras sintéticas, plásticos, cauchos sintéticos, detergentes, etc.

Hubiera sido interesante que se hubiese indicado el aspecto económico de la petroquímica, en U. S. A., donde representa un 60 por 100 del valor de los productos químicos, un 30 por 100 (en tonelaje) de los orgánicos y un 10 por 100 de los minerales (en tonelaje). puesto que el amoníaco y el ácido sulfúrico con el azufre y el hidrógeno, son actual-

mente productos petrolíferos. De ahí que el desarrollo prodigioso de la petroquímica esté ligado a estas fibras plásticas y cauchos sintéticos, que representan la mayor parte de los productos en toneladas y en cifras comerciales (El caucho sintético representa actualmente un 70 por 100 del mercado).

La industria petrolífera no suministra el resto, sino únicamente los monómeros para el caucho, pues pueden utilizarse, también, los aceites para cauchos sintéticos; esta operación consiste en sustituir las fracciones de bajo peso molecular del caucho sintético ordinario, por los aceites de hidrocarburos menos costosos.

Los detergentes constituyen, igualmente, uno de los objetivos de la síntesis petroquímica, y los investigadores de la Shell en los trabajos remitidos al V Congreso Mundial del Petróleo, describen las propiedades de los dodecibencenos y demuestran que las propiedades de crear espuma y de empapar, aumentan cuando el grupo fenil está situado cerca del centro de la cadena alcalina.

La transformación de las materias primas petrolíferas, en productos utilizables, se puede efectuar directamente en reacciones como el Cracking o la deshidrogenación, pero investigadores italianos han ideado un ingenioso procedimiento agregando un coadyudante termodinámico a estas reacciones, y efectuando la deshidrogenación y el cracking del butano y propano en presencia de oxígeno; que conduce a la formación de agua, y a balances térmicos que son beneficiarios. Los resultados obtenidos son mejores que en las reacciones del cracking térmico o en la deshidrogenación catalítica sobre óxido de cromo, pero las ventajas son poco importantes y las temperaturas utilizadas son también elevadas.

Los investigadores rusos han puesto a punto un proceso de oxidación de las parafinas en alcohol, caracterizado por el empleo de la fase líquida, a bajas temperaturas, de una mezcla oxidante pobre en oxígeno, que favorece la actividad de la reacción. Los alcoholes formados en el transcurso de la reacción, son captados mediante ácido bórico, bajo la forma de ésteres. Este proceso obtiene todos los alcoholes secundarios posibles.

Los investigadores israelíes han utilizado para la fabricación de detergentes una reacción de hidropoxidación en fase líquida. Los hidropéroxidos, formados, son tratados con una solución de bisulfito de sodio, y permiten obtener los derivados sulfonados que presentan unas propiedades excelentes como detergentes. El proceso conduce a los ácidos carboxílicos, que son igualmente utilizables.

La oxidación de los hidrocarburos aromáticos presenta, desde hace mucho tiempo, un interés particular por conducir a los ácidos ftálicos, materia prima para fibras y plásticos.

Un ejemplo significativo de la competencia industrial para la elección de las materias primas bases de la petroquímica y las cadenas de reacción para llegar a un producto dado, nos lo muestra el boletín de la Knapsack, sobre la síntesis del acrylonitrilo.

Este producto actualmente se fabrica basándose en la reacción del ácido cianhídrico con el acetileno. Pero esta síntesis conduce a pérdidas de rendimiento, debidas a la formación de acetaldehído y de monovinilacetileno. El procedimiento Knapsack consiste en hacer reaccionar el ácido cianhídrico sobre el acetaldehído, después se deshidrata al elevar la temperatura (600-700° C) el lactonitrilo previamente mezclado con ácido fosfórico, que puede ser recirculado. Este nuevo proceso obtiene mayor rendimiento que con el procedimiento clásico, suministrando un acrylonitrilo de mayor pureza sin estar ligado a las unidades de fabricación del acetileno. Si las inversiones son sensiblemente las mismas en el Knapsack, ya las materias primas utilizadas son un 20 por 100 más baratas. Esta nueva síntesis realizada en plantas piloto (pequeña escala), ha despertado un gran interés.

Aparte de este procedimiento, la química industrial ha visto aparecer nuevos procesos de gran importancia en el dominio de la polimerización de las olefinas. Las primeras unidades de polimerización del etileno, a baja presión, aparecieron en 1956 y citaremos: el proceso Phillippe, el proceso Ziegler y el proceso Natta de polimerización del propileno. Estas nuevas técnicas de polimerización, conducen a los polímeros estereoespecíficos de propiedades particulares y que son objeto de investigaciones importantes, particularmente en el campo de los catalizadores, pues puede llegarse a descubrir alguno nuevo, y comprender mejor el proceso de su acción, que puede tener gran repercusión en la petroquímica.

Los autores rusos en sus comunicaciones obtienen un cierto número de resultados sobre este tipo de catálisis, tanto por la utilización de los catalizadores del Ziegler (hidruro de litio, cloruro de aluminio y titanio) como por los catalizadores de óxido de cromo. Se interesan principalmente en la naturaleza de la reacción de polimerización: reacciones en cadena haciendo intervenir los radicales o las formas iónicas o ionoides. Estas cuestiones están siendo aún motivo de numerosos problemas científicos.

Los investigadores de la Phillips revelan, en sus informes, los resultados que han obtenido en la polimerización de los acetilénicos con los catalizadores utilizados para la polimerización del etileno. Los polímeros obtenidos conducen a los aromáticos ramificados: esta polimerización parece presentar un interés incomparablemente menor que el de las olefinas.

La repercusión de la catálisis estereoespecífica en el dominio de los cauchos sintéticos, ha sido uno de los trabajos que han despertado mayor interés en este Congreso.

Es sabido que el caucho sintético ordinario, tipo G R S: copolímero, estireno, butadieno; no tiene las aplicaciones del caucho natural en la fabricación de neumáticos para vehículos pesados. La realización sintética de un polímero análogo al caucho natural, es decir, estereoespecífico, a partir de un isoprano industrial, permite resolver este problema.

Para fabricar de una manera selectiva la estructura del isoprano, los investigadores franceses utilizan la reacción de fijación del formol al isobutano (reacción de Prins), que conduce en la primera etapa a un dioxano que es descompuesto en la segunda etapa en isoprano, formol que es recíclico y agua. El método es interesante en numerosos casos: se obtiene un isoprano exento de piperilano, residuo de la polimerización.

La actividad de la reacción del formol sobre el isobutano es tal que no es necesario utilizar el isobutano puro. La cinética de las reacciones ha sido estudiada con sumo cuidado y ha permitido a los investigadores franceses definir las condiciones operatorias de actividad y de rendimiento máximo.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *Manufacture and Utilization of Aromatics from Petroleum.* H. W. EARHART, R. L. HEINRICH, E. W. LEWIS, T. M. NEWSON and E. F. WADLEY (Humble Oil and Refining Co). U. S. A.
- (2) *Two-Stage Process for Production of Naphtalene and High Octane Gasoline from Cycle Stock.* B. S. FRIEDMAN and S. M. KOVACH (Sinclair Research Laboratories). U. S. A.
- (3) *Catalytic Dehydrocyclization of Paraffinic Hydrocarbons.* B. A. KASANSKI and A. L. LIBERMANN (Académie des Sciences). Rusia.
- (4) *The Kinetics of Pyrolysis of Ethane and Related Hydrocarbons.* H. G. DAVIS and K. D. WILLIAMSON (Union Carbide Olefins Hoechst A. G.). U. S. A.
- (5) *Fundamental Relations in the Pyrolysis of Hydrocarbons to Acetylene.* HANS KREKELER, R. WIRTZ et N. PECHTOLD (Farbwerke Company). Alemania.
- (6) *Acetylene Production from the Pyrolysis of liquid Hydrocarbon Feedstocks.* F. F. BRACONIER et P. J. LEROUX (Société Belge de l'Azote G. C. GRUBB et W. W. WALK (M. W. Kellogg Company). Bélgica.
- (7) *Oxidative Cracking of Propane and Butane, Isobutane Mixtures.* Mario BACCAREDDA and Gianfranco MENCETTI (Università de Pise). Italia.
- (8) *Cracking of Gaseous Hydrocarbons by Partial Oxidation.* E. BARTHOLOME and H. MONNEMACHER (Ammoniaklaboratorium der Badischen Aniline und Soda-Fabrik A. G.). Alemania.

- (9) *Catalytic Synthesis of Cyclopentadiene Hydrocarbons*. N. I. SHUKIN and T. I. NARYSHKINA (Académie des Sciences).
Rusia.
- (10) *Butadiene Production. Commercial Practice With Dow Catalysts*. R. J. HARBOUR (Dow Chemical Co.).
U. S. A.
- (11) *Procédé de fabrication de l'isoprène*. M. HELLIN, G. GUERPILLÓN et F. COUSSEMANT (Institut Français du Pétrole).
Francia.
- (12) *Fabrication de dioléfinas conjugadas por hidroperoxidación de oléfinas*. G. M. CLEMENT et J. C. BALACEANU (Institut Français du Pétrole).
Francia.
- (13) *The Production of Synthesis Gas by Partial Oxidation*. DU BOIS EASTMAN (Texas Company).
U. S. A.
- (14) *Recent Developments in the Oxo Process*. V. N. HURD and B. H. GWYNN (Gulf Oil).
U. S. A.
- (15) *Synthesis of Higher Aliphatic by Direct Oxidation of Paraffinic Hydrocarbons*. A. N. BASHKIROV and V. V. KAMZOLKIN.
Rusia.
- (16) *Hydrogen Peroxide: New Techniques for its Utilization*. George B. PAYNE (Shell Development Cy).
U. S. A.
- (17) *A New Process for Oxidation of Aromatics*. D. E. BURNEY, G. H. WEISEMANN and Nathan FRAGEN (Standard Oil Cy).
U. S. A.
- (18) *Production of Aromatic Dicarboxylic Acids*. J. P. FORTUIN, M. J. WAALLE et R. P. VAN OOSTEN (Koninklijke/Sell laboratorium).
Holanda.
- (19) *Acetaldehyde as Raw Material for Acrylonitrile*. Kurt SENNEWALD (Knapsack-Grisheim A. G.).
Alemania.
- (20) *Detergent Alkylsulfonates Derived from Petroleum Hydrocarbons Through Hydroperoxides*. A. BANIEL and B. H. VROMEN (Kadimah Chemical Corp.).
Israel.
- (21) *Relationship Between the Structure of Phenyldecane Isomers and their Performance as Detergent Base Materials*. J. J. TJEKEMA, B. PAULIS (N. V. De Bataafsche Petroleum Maatschappij) et H. WK HUIJSER (Koninklijke/Shell laboratorium).
Holanda.
- (22) *New Plastics from Petroleum*. Giulio BALABIO (Montecatini).
Italia.

- (25) *Some Relationships of Polymerization of Alpha-Olefins on Complex Organometallic and Oxide Catalysts*. A. V. TORCHEV and B. A. KRENTSEL (Académie des Sciences).
Rusia.
- (26) *The Polymerization of Acetylene and Homologues*. Alfred CLARK, J. O. HOGAN, D. R. WITT et W. C. LANNING (Phillips Petroleum Company).
U. S. A.
- (27) *Oil Extension of Synthetic Rubbers*. E. J. BUCKER and J. M. MITCHELL (Polymer Corporation Ltd.).
Canadá.
- (28) *Summary of the Synthetic Fiber Industry*. Roy W. SUDHOFF (The Chemstrand Corp.).
U. S. A.
- (29) *Improved Process for Sulfur Recovery from Refinery Gases*. R. W. RIEVE, P. H. PITTS, Jr. and L. N. LEUM (The Atlantic Refining Cy).
U. S. A.
- (30) *Thianaphtene and Homologs from Hydrocarbons and Hydrogen Sulfide*. J. A. PATTERSON, R. E. CONARY, R. F. MC CLEARY (Jefferson Chemical Cy), C. H. CULMANN (Wyandotte Chemical Corp.), L. E. RYDISCH et C. B. HOLDER (Texaco Research Center).
U. S. A.
- (31) *Integration of Petroleum Chemicals Operations*. Denis W. HUBNER, William A. MASON and James W. WOOLCOCK (Imperial Chemical Industries Ltd.).
Inglaterra.

SECCIÓN V.—COMPOSICIÓN, ANÁLISIS Y ENSAYOS.

De las treinta y una comunicaciones que han sido presentadas, en esta sección, por doce países diferentes, ocupa el primer lugar EE. UU. con doce.

En las ponencias presentadas no ha aparecido ninguna novedad notable, sin embargo, se puede destacar la aparición de la resonancia magnética nuclear y el gran desarrollo tomado por el método cromatográfico en «fase vapor».

Se pueden dividir las ponencias en cinco grupos:

- 1) Espectrometría: cinco ponencias.
- 2) Cromatografía: cinco ponencias.
- 3) Resultados de los análisis de los productos petrolíferos: nueve ponencias.
- 4) Propiedades físicas de los hidrocarburos: cuatro ponencias.
- 5) Lubricación: ocho ponencias.

Puesto que los temas tratados son muy diversos, resulta difícil hacer una verdadera síntesis; y así se ha preferido agrupar trabajos que traten de temas similares.

Espectrometría.

No se presentó ningún trabajo sobre los métodos clásicos (infrarrojo u ultravioleta), que en conjunto son bien conocidos, sino que se ha tratado más bien de las regiones del espectro menos estudiadas hasta la fecha. Partiendo de la zona de grandes longitudes de onda del espectro hertziano, nos conduce a la resonancia magnética nuclear. Esta técnica es muy moderna y no había sido tratada en el IV Congreso Mundial del Petróleo. Los autores que han publicado ya un volumen con 300 espectros de resonancia, describen cierto número de aplicaciones insistiendo en el hecho de que los resultados no podían conseguirse siguiendo los métodos existentes.

Hemos de destacar que la resonancia nuclear exige unos aparatos bastante delicados y costosos; no obstante, la conclusión de los autores es que esta técnica llegará a ser de gran porvenir.

En los trabajos 2 y 7 se examina la espectrometría infrarroja en dominios poco explorados, al menos desde el punto de vista de sus aplicaciones. Se trata de una parte del infrarrojo comprendida entre 15 y 37 micrones. Habiéndose efectuado un estudio sistemático del espectro del hidrocarburo, el autor señala que en esta zona aparecen las absorciones relacionadas con la deformación del esqueleto molecular, siendo extraordinariamente sensible a las menores diferencias entre estructuras, lo que permite una fácil identificación de los isómeros. Aparecen también en esta región bandas de absorción debidas a la presencia de átomos más pesados que el carbono y el hidrógeno, tales como los halógenos, el azufre, el fósforo, los metales, etc., lo cual es muy interesante para la dosificación de los aditivos de los aceites.

La ponencia (1) trata de la espectrometría de los rayos ultravioleta lejanos (entre 1100 a 2100 Å). Actualmente se han superado las dificultades inherentes al estudio de esta región, por existir espectrógrafos termales de vacío. El autor describe un sistema de recepción que utiliza una pantalla de salicilato de sodio que bajo el impacto de la radiación U. V., obtiene una fluorescencia sistemática en el máximo de sensibilidad de un tubo fotomultiplicador clásico, ya que el salicilato hace de convertidor de longitudes de ondas. Existen, sin embargo, ciertas dificultades para construir una fuente de emisión estable, pero con el sistema de doble haz se consiguen buenos resultados.

Hemos de tener en cuenta que todos los hidrocarburos absorben la radiación en esta región, incluso los hidrocarburos saturados. Entre los ejemplos citados como clásicos de esta gama de longitudes de ondas, podemos citar la dosificación de los etilenos tetrasustituídos en las mezclas de olefinas y el de las trazas de humedad en el hidrógeno.

Cromatografía.

El importante desarrollo de la cromatografía en fase de vapor en los laboratorios, se puso de manifiesto por la presentación de cinco informes sobre este tema.

En los trabajos 4 y 7 se han expuesto los métodos operativos analíticos de la dosificación de las impurezas del etileno puro y de los líquidos que emanan de un proceso de isomerización en los hexanos.

En el informe 5 se estudian los métodos de separación continua por cromatografía en fase de vapor. Se basa en lo siguiente: el gas portador circula normalmente, mientras que la fase líquida circula en sentido inverso con una velocidad determinada por la separación que se va a efectuar. Los productos que se van a separar se concentran entonces en ciertas zonas de la columna, en las cuales se pueden instalar sistemas de trasiego. También describe este informe un aparato confeccionado según este principio. Hemos de tener en cuenta, que en lugar de mantener una temperatura constante, esta teoría prevé la necesidad de crear un gradiente de temperatura variable a lo largo de la columna. Para conseguir un buen funcionamiento de este aparato, es preciso una regularización perfecta de los diversos parámetros, siendo uno de los más importantes la constancia de la relación del consumo del gas portador al consumo de la fase líquida de separación.

Resultados del análisis de los productos petrolíferos.

Este tema ha sido tratado en diez informes y se ve claramente que la mayor parte de estos estudios tratan de los compuestos presentes en las fracciones pesadas.

Podemos considerar que los métodos de análisis están perfectamente puestos a punto para los hidrocarburos contenidos en las fracciones de gasolina y gas-oil.

Un informe ruso (15) expone los resultados obtenidos en el estudio de una gasolina que contenía olefinas. El análisis se efectuó utilizando separaciones clásicas como la hidrogenación y la deshidrogenación. Las fracciones se estudiaron por la espectrometría Raman. Se encontraron todos los tipos de olefinas cíclicas o no, a excepción de las olefinas tetra sustituidas en el doble enlace.

Los átomos distintos del C y el H contenidos en los petróleos brutos, así como el azufre, el nitrógeno y el oxígeno se han examinado en el informe 14. Se indica en el apéndice cuáles son los hetero-compuestos que ya se han identificado, incluyendo una abundante bibliografía sobre ellos. Los porcentajes de oxígeno, nitrógeno y azufre se han dado en función de los puntos de ebullición. Admitiendo la presencia de un átomo extraño por molécula, se ve que para tres petróleos representati-

vos no existen ya verdaderos hidrocarburos en las fracciones muy pesadas. En el petróleo de Wilmington se han identificado diez y nueve elementos metálicos. Este resultado se aproxima al concerniente a la fluorescencia X aplicada a las cenizas del bruto (13).

Propiedades físicas de los hidrocarburos.

Este problema ha sido tratado en tres informes distintos.

El autor del informe (26) cree que existen relaciones lineales entre el índice, la densidad y el número de átomos del carbono en series homólogas. La comprobación experimental lo ha confirmado en un cierto número de familias, cuando el número de átomos de carbono es mayor que 12.

En el informe se demuestra, también, la existencia de una relación lineal entre la velocidad de propagación de los Ultrasonidos y la tensión superficial en los aceites minerales saturados. Esta relación lineal es independiente del peso molecular, del grado de ramificaciones y del número de nudos. Hemos de tener en cuenta que no se ha dado ninguna razón teórica para explicar la existencia de estas relaciones.

En el informe 16 se establecen relaciones empíricas entre las estructuras molecular de los hidrocarburos policíclicos condensados y sus propiedades físicas. Se han estudiado los efectos de diferentes factores, tales como la hidrogenación y la alcalinización.

Aceites lubricantes.

Aunque los temas tratados en los ocho informes presentados son muy diversos, la mayoría se refieren al problema de la viscosidad. Algunos autores se han dedicado al problema de la clasificación de los aceites, por su índice de viscosidad, ya que los índices Dean y Davis son en efecto insuficientes, por su definición demasiado empírica.

La influencia de la atmósfera sobre la viscosidad de los aceites lubricantes, se estudia en el informe 28. Los autores llegan a la conclusión de que la presencia del aire aumenta el coeficiente de rozamiento entre dos superficies de acero lubricadas. Atribuyen este fenómeno a la ausencia de oxígeno que impide la formación de óxido férrico.

El autor del trabajo 23 describe detalladamente los aparatos que permiten evaluar con rapidez la estabilidad térmica de los aceites detergentes, así como las pruebas de oxidación y dispersión de los lodos. Hemos de tener en cuenta que, pesar de ser estos ensayos tan empíricos, permiten una preselección rápida de los tipos de aceite, sin embargo, no determinan más que un solo parámetro relacionado con ellos y no pueden sustituir, por tanto, al ensayo final efectuado en un motor que, por ahora, es el único que permite juzgar la calidad de los aceites.

En el informe 24 se dan los resultados de los estudios realizados so-

bre la aplicación de los aceites multigrados, para los motores de los vehículos europeos. El autor llega a la conclusión de que en la mayoría de los casos, estos aceites preparados con ciertas precauciones, en lo que se refiere, por ejemplo, a las bases que se van a emplear, son totalmente satisfactorios, especialmente para el caso de rodaje (aceites que contienen tiofosfatos de zinc), pero que para vehículos viejos y muy usados, sólo se deben usar los aceites clásicos.

Las variaciones del factor de potencia y de la constante dieléctrica, en función de la temperatura para los aceites minerales y los hidrocarburos clorados, se examinan en el texto 25. La influencia de los inhibidores ya se estudió, y sólo tienen importancia antes del envejecimiento

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *Some Advances in Vacuum Ultraviolet Spectrophotometry*. B. E. HUDSON, JR., R. F. ROBESY et J. F. NELSON (Esso Research and Engineering Co.).
U. S. A.
- (2) *Analytical Applications of Near-Infrared Spectroscopy*. R. J. MOORE, F. J. GORDON et R. C. EIFEERT (Shell Oil Co.).
U. S. A.
- (3) *The Present Status of the Infrared Study of Chemisorbed Molecules*. R. P. EISCHEMS (Texaco Research Center).
U. S. A.
- (4) *Gas Chromatography Guides Development of a Paraffin-Isomerization Process*. JOHN C. WINTERS, F. S. JONES et T. L. MARTIN (Standard Oil Co.).
U. S. A.
- (5) *Continuous Separation of Multicomponent Mixtures by Gas Chromatography*. W. KUHN, A. NARTEN et M. THURKAUF (Institut de Chimie-Physique, Université de Bâle).
Suiza.
- (6) *Analyse des hydrocarbures légers dans les pétroles bruts au moyen de la chromatographie en phase vapeur*. J. VAN RYSELBERGE (Laboratoire de Recherches Purfina S. A.).
Bélgica.
- (7) *Contribution française à l'application des méthodes spectrographiques et chromatographiques dans l'industrie pétrolière*. A. VAN LANGERMEERSCH (Esso Standard), Ayme CORNU et Daniel JOLY (Compagnie Française de Raffinage).
Francia.
- (8) *Refining Applications of Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry*. N. F. CHAMBERLAIN, N. P. NEUREITER, R. K. SAUNDERS and R. B. WILLIAMS (Humble Oil and Refining Co.).
U. S. A.

- (9) *Analytical Applications for Ion Exchange Resins in the Petroleum Industry.* W. A. MUNDAY and A. EAVES (Shell Research Ltd.). Inglaterra.
- (10) *Petroporphyrins.* Alsoph H. CORWIN (Johns Hopkins University) U. S. A.
- (11) *Detection and Behaviour of Porphyrins Aggregates in Petroleum Residues and Bitumens.* Giorgio COSTANTINIDES, Guido ARICI et Cesare LOMI («Aquila» Oil Refinery) Italia.
- (12) *Constitution des composés soufrés cycliques du pétrole.* M. BÉSTOUGEFF (Compagnie Française de Raffinage). Francia.
- (13) *Dosage d'oligo-éléments et de traces d'impuretés dans les produits pétroliers.* Léon BOISSELET, Guy BARON, Robert DELION, Jean FAYRE, Guy PARC et Antoinette, POUSSIN (Institut Français du Pétrole). Francia.
- (14) *Minor Constituents of a California Petroleum.* J. S. BALL, W. E. HAINES and R. V. HELM (Bureau of Mines) U. S. A.
- (15) *Investigation of the Chemical Composition of Gasolines Containing Unsaturated Hydrocarbons.* A. V. TOPCHIEV, I. A. MUSAYEV, E. Kh. ISHAKOVA, A. N. KISLINSKY et G. D. HALPERN. Rusia.
- (16) *Physical Properties and Molecular Structure in Fused Polycyclic Hydrocarbon Systems.* Joseph A. DIXON (Pennsylvania State University) U. S. A.
- (18) *The Work of the API Research Project 6 on the Composition of Petroleum.* Frederick D. ROSSINI and J. MAIR (Carnegie Institute of Technology) U. S. A.
- (19) *Composition of Chromatographic and Thermal Diffusion Fractions of Typical Asphalts.* H. M. CHELTON and R. N. TRAXLER (Texaco) U. S. A.
- (20) *The Constitution of Asphaltic Bitumen.* Karl A. FISCHER and A. SCHRAM (Deutsche Erdöl. A. G.) Alemania.
- (21) *Properties and Structures of Asphaltenes Separated from Mineral Oil Residua.* C. PADOVANI, V. BERTI et A. PRINETTI (Station Expérimentale des Combustibles, Milán) Italia.
- (22) *Evaluation of Gear Oils Under Conditions of Boundary Lubrication.* George R. SCHULTZE, Albert A. BARTEL et Josef F. MOSS (Institut fuer Erdölforschung). Alemania.

- (23) *Laboratory Screening Tests for Lubricating Oil Detergents and Dispersants.* Raymond M. JOLIE (The Lubrizol Corp.) U. S. A.
- (24) *Some European Questions on Multigrade Lubricating Oils.* Sandro SIRTORI (Lombarda Petroli S. p. A.) Italia.
- (25) *Contribution to the Investigation of Some Factors Affecting the Dielectric Behaviour of Mineral Oils.* L. CHIABOTTO (Esso Standard Italiana) Italie.
- (26) *Correlaciones entre las propiedades físicas de los hidrocarburos.* V. GÓMEZ ARANDA (Instituto Nacional del Combustible) España.
- (27) *A Contribution to Viscometry; Hydrodynamical Study on Capillary Viscometry.* Naojiro ISHII, Akira WAKANA et MASUMI KINOSHITA (Showa Oil Co.) Japón.
- (28) *On the Oiliness of Lubricating Oil Measured in Various Atmospheres.* Yuzaburo NAGAI, Hisae ISHIDA (Université de Tokyo), Hiroshi MIYAZAKI (Nippon Oil Cy), Toshio SAKURAI (Institut de Technologie de Tokyo) et Mitsuru TOYOGUCHI (Mitsukishi Oil Cy) Japón.
- (29) *The Ultrasonic Velocity in Hydrocarbons and Their Mixtures in Relation to Their Surface Tension.* J. CORNELISSEN («Naarden» Chemical works), H. I. WATERMAN et J. A. WATERMAN (Koninklijke/Shell laboratorium) Holanda.
- (30) *Classification of lubricating Oils according to their viscosity-temperature relationship.* R. N. J. SAAL (Comité International de Rhéologie) Holanda.
- (30 A) *A study of the ASTM viscosity-index problems.* J. C. GENIESSE (Atlantic Refining Co.) U. S. A.
- (31) *Specific Nature of Extraction Asphalts in the Light of Extended Testing Methods.* Inz. Ludwick Kossowicz (Zjednoczenie Przemysłu Rafinerii Nafty) Polonia.

SECCIÓN VI. UTILIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS PETROLÍFEROS.

1. Utilización de los carburantes y combustibles en los motores

Los trabajos de esta Sección dedicados a los combustibles se caracterizan por la permanencia de los problemas relacionados con la evolución simultánea de los motores y de las posibilidades de refino.

La aparición de nuevos tipos de motores, tales como turbinas de gas, generadores de pistones libres, reactores y estratorreactores no puede influir sobre la modificación de los procedimientos de producción de los combustibles, sino a largo plazo, pues, es preciso, ante todo, satisfacer en condiciones favorables, las exigencias de los motores existentes, y de aquellos que provienen de éstos por pequeñas modificaciones mecánicas.

Este tema se ha tratado ampliamente en la conferencia dedicada a los progresos realizados en las turbinas de gas de aviación, turbinas de gas marinas, turbinas de gas en instalaciones fijas y, finalmente, turbinas de gas alimentadas por generadores de gas con pistones libres. M. Ferguson, autor de este tratado, expone con claridad el problema de las características de los combustibles de estos motores. Aunque en principio el «slogan» de la turbina era su indiferencia por los productos utilizados, nos encontramos hoy en presencia de características determinadas para las turbinas de aviación y para las turbinas marinas. Puesto que la turbina de tracción no se ha desarrollado suficientemente, no insistiremos en el combustible adecuado. Existe para cada tipo de turbina un producto, con él se puede obtener su máximo rendimiento. Pero no es probable, que las características de estos combustibles tiendan, en el futuro, hacia una especificación tan limitada como la antidetonancia impuesta a los combustibles destinados a los motores de encendido regulable. Este combustible será una mezcla adecuada de determinados productos químicos derivados del petróleo.

La evolución de la turbina de tracción tenderá al empleo de combustibles constituidos por fracciones muy amplias, con objeto de poder tener en cuenta los parámetros de aprovisionamiento de seguridad y los precios de costo, y este problema será tanto más agudo en cuanto que la turbina actual presenta consumos específicos superiores a los de los motores alternos.

Los estratorreactores que utilizan carburantes del tipo I. P4 parece ser que exigen combustibles con especificaciones comprendidas entre límites más estrechos para conseguir rendimientos más elevados. La memoria 14 describe las pruebas realizadas en el laboratorio y los resultados obtenidos en una pequeña cámara de combustión, que consumía para cada ensayo de 200 gramos a dos kilogramos de combustible, lo que confirma, según los autores, las pruebas realizadas en máquinas reales. En la memoria tres, se trata el problema del desarrollo actual de los generadores con pistones libres. Además de tratar las condiciones de instalación de los generadores y de su utilización, el autor estudia la previsión de la producción de estos motores y nos indica que la potencia instalada en 1959 alcanzó 120.000 cv.

La turbina de gas en todas sus formas es la de menor interés entre los numerosos motores modernos. No obstante, la influencia sobre la distribución de los diferentes productos, desde que apareció la turbina de gas, cuya potencia total instalada en 1958 es de 3.600.000 cv. no se podrá limitar, teniendo en cuenta que 70 u 80 millones de vehículos están equipados con motores de encendido regulable y que cierto número de trac-

ción convencional consumen en Europa del 55 por 100 de los productos petrolíferos.

Los problemas de mayor interés son:

1.º La evolución de los combustibles para motores de encendido regulable con especificaciones cada vez más concretas.

2.º Aparición de los motores policarburantes con encendido por compresión que utilizan combustibles de especificaciones más amplias.

3.º El progreso de la utilización de los fuel-oils pesados en las turbinas fijas.

1. Utilización de los combustibles con especificaciones limitadas en los motores de encendido regulable.

a) «Combustión anormal de los motores de encendido regulable y efecto de los aditivos.»

El conjunto de estos informes, en los que se incluye la clasificación de las superficies catalíticas, permite explicar los fenómenos de combustión anormal en los motores actuales e indicar la evolución probable de estos fenómenos relacionados con las modificaciones en la estructura de los motores modernos.

El plomo-tetraetilo era hasta hoy, el aditivo más eficaz para mejorar las cualidades antidetonantes de las gasolinas. Parece, sin embargo, que en la zona de los índices de octano elevados que se acaban de lograr con las actuales gasolinas, esta acción es cada vez menor. En muchos países se han efectuado numerosas investigaciones para tratar de obtener un aditivo más eficaz que el plomo tetraetilo. La memoria (10) nos habla del nuevo aditivo de la Sociedad Ethyl, denominado comercialmente M. D. C. M. T., el cual tiene por elemento activo el tricarbonilo-manganeso de metilpentadienil. Este aditivo es dos veces más eficaz que el plomo-tetraetilo y su acción sobre la detonación parece provenir de fenómenos idénticos. Presenta, por el contrario, ciertos inconvenientes relacionados con la vida de las bujías y de las válvulas. Sin embargo, la adición de compuestos de fósforo a las gasolinas tiende a disminuir estos inconvenientes. Debido a su precio elevado, en este momento, sólo se utilizará este aditivo como complemento del plomo-tetraetilo, resultando así económico al aumentar el índice de octano.

b) «Necesidad de índice de octano elevado para vehículos y relación con el utilizado en el motor en servicio.»

Los estudios sobre el índice de octano necesario para los vehículos europeos adquiere cada vez más importancia a partir del primer informe presentado en Roma sobre el índice de octano de las gasolinas utilizadas en los vehículos franceses.

La memoria (9) expone los trabajos efectuados en relación con los vehículos italianos e indica las tendencias probables de aumento de índice de octano de la gasolina, teniendo en cuenta la evolución de la producción del automóvil en Italia. El autor indica que la exigencia en oc-

tano de los motores italianos con grado de comprensión 20 es aproximadamente de 105 R. M. Pero no cree que estos valores tan elevados del grado de comprensión, puedan generalizarse en Italia con tanta rapidez como en Estados Unidos.

En la memoria (7) se intenta una síntesis de los informes sobre la exigencia de octanos de la producción accidental, la exposición de la adaptación del carburante a los vehículos va precedida de un examen de las pruebas a que se someten los vehículos (potencia, consumos) en diferentes condiciones de utilización. Según sus autores el 95 por 100 de los vehículos utilizaron en 1958 carburantes de índice de octano (carburantes primarios), de 98,5 en Estados Unidos, de 95,5 en Gran Bretaña, de 92 en Italia y de 91,5 en Alemania. La interpretación de los gráficos de la figura 8 de la memoria, relativa a las previsiones para 1962, nos da exigencias de octano el 95 por 100 del conjunto de vehículos, el cual es de 102 en Estados Unidos, de 96,5 en Gran Bretaña, de 95 en Italia y 93,5 en Francia.

c) «Aspecto económico de los combustibles de elevado índice de octano.»

La producción de los carburantes de elevado índice de octano necesarios para motores con grado de comprensión elevado, obliga a las refinerías y a los técnicos del automóvil a buscar el índice de octano óptimo, teniendo en cuenta la economía de la producción y el consumo de carburantes. En la memoria (6) se indica que dada la tecnología de los motores en Estados Unidos, en 1958, el índice de octano óptimo por métodos clásicos fue aproximadamente de 98 R. M. El que aparezcan en el mercado calidades superiores, se justificará por el beneficio obtenido por el consumidor. Según parece, saldrán progresivamente al mercado americano los carburantes de índice de octano superior a 100, los cuales serán adecuados para motores con grado de comprensión de 12.

Hemos de destacar que en este Congreso no se presentó ningún informe por parte de los técnicos del automóvil sobre los progresos realizados en la búsqueda de la reducción de la exigencia en octano de los motores mediante la concepción de nuevas cámaras de combustión

2. Utilización de los combustibles de amplias especificaciones.

a) «Motores de encendido por compresión.»

Los motores de encendido por compresión son menos sensibles a las variaciones de las especificaciones que los motores de encendido regulable. Sin embargo, hasta los últimos años, esta tolerancia no permitía utilizar, de una manera conveniente, en los motores Diesel, los productos ligeros. El principal interés por los motores susceptibles de ser alimentados con productos de especificación amplia, se debe sobre todo, a las exigencias militares, en lo concerniente a la política de aprovisionamiento de combustibles de los motores alternos si se llegase a un conflicto eventual. Por otra parte, presentan interés para la utilización de ciertos cam-

pos de petróleo utilizados hasta ahora para usos de menos importancia que la producción de energía mecánica.

Las dos ponencias tratan del problema del motor policarburante, las memorias (1 y 2) constituyen una aportación original que supone un avance europeo en el campo técnico. En la ponencia francesa, se han presentado los resultados obtenidos cuando se trata de la alimentación de motores de inyección directa con refrigeración por aire y por agua, según un ciclo nuevo. El autor de la ponencia alemana ha presentado las realizaciones de la industria de su país bajo la forma de cuatro motores diferentes, por la forma de su cámara de combustión, o por su forma de refrigeración, insistiendo en la economía de la combustión que se puede obtener con estos motores y a consecuencia de su alimentación por gasolina, comparándola con los motores convencionales de encendido regulable alimentados con la gasolina suministrada para esos tipos de vehículos. La cuestión del aumento de precio de los motores policarburantes con relación a los motores Diesel convencionales, no se ha abordado.

El hecho notable es que el motor policarburante ha llegado a ser una realidad industrial desde la presentación de los primeros trabajos de laboratorio en 1954. Constituye el polo opuesto del motor alterno, de encendido dirigido, cuyos progresos están ligados a la especificación, más o menos limitada, del combustible utilizado.

Los estudios efectuados sobre los motores de policarburantes han aportado perfeccionamientos a los motores clásicos con encendido por compresión, lo que nos indica la gran utilización de ambos tipos de motores.

b) «Turbinas de fijax o marinas.»

La rentabilidad del empleo de la turbina de gas está ligada al precio del combustible utilizado y su rendimiento condicionado por la temperatura máxima admisible a la entrada de los alabes. Por tanto, todos los esfuerzos tienden a poder utilizar con ella, combustibles de especificación amplia, o sea productos pesados, buscando la forma de aumentar la temperatura de admisión de la turbina.

El empleo de fuels residuales estaba limitada, hasta ahora, por las temperaturas de entrada de los gases a la turbina, entre 629° y 680° C. Además, existe otra limitación análoga, debida a la corrosión de los calentadores de aire en las turbinas de circuito cerrado. Este problema de la corrosión y sus progresos lentos y laboriosos, son puestos de manifiesto por la continuidad con que se ha tratado este tema por sociedades suizas en el Congreso de La Haya, en el de Roma y por último, en el Congreso de New York.

II. Utilización de los combustibles en los quemadores

En dos ponencias se ha tratado el problema de la utilización racional de los fuels en la calefacción doméstica e industrial, teniendo presente que actualmente sólo el consumo para la calefacción doméstica repre-

ta el 13,5 por 100 de los productos petrolíferos refinados en los Estados Unidos. La memoria (25) es el resultado de un programa de investigaciones en el que se estudian los problemas encontrados en laboratorios, para la mejora de los quemadores existentes y para los ensayos de explotación de estos perfeccionamientos. Los resultados de la experiencia muestran que es posible utilizar diferentes fuels en condiciones más favorables, si se han tratado convenientemente y si han tenido una preparación mecánica de la mezcla de combustibles adecuada.

La importancia de mejorar tanto el rendimiento como la transparencia de los humos, justifica las investigaciones y trabajos técnicos dedicados a la calefacción doméstica, teniendo en cuenta, además, que el problema del envenenamiento de la atmósfera urbana, supone una gran preocupación en los diferentes países.

En la memoria (26) se detalla los resultados de las investigaciones emprendidas, después de la primera guerra mundial, para llevar a cabo la sustitución de los combustibles líquidos por los combustibles sólidos o gaseosos, en las instalaciones industriales. Estos esfuerzos han conducido a la concepción de hornos especiales en la industria del vidrio y en la siderúrgica, a fin de aprovechar, al máximo, las propiedades particulares de las llamas de mazout. Por último, acaban de aparecer instalaciones especiales para la producción de vapor, calderas y hogares forman un solo bloque, alimentados con fuel y los precios de fabricación y la instalación son menores que las correspondientes de carbón. Hay que tener en cuenta que continúan numerosos trabajos sobre las propiedades de las llamas y a par de los resultados ya obtenidos, que no son despreciables, será necesario esperar varios años, antes de disponer de datos precisos para lograr rendimientos superiores al 20 por 100 y técnicamente utilizables para la concepción de nuevos hornos.

Conclusión.

Las memorias presentadas sobre los combustibles en esta Sección, han detallado los progresos y las nuevas tendencias sobre los problemas permanentes: de una parte, el crecimiento de los tantos por ciento de compresión de los motores, el aumento del índice de octano medio correspondiente para lograr este aumento de compresión y técnicas de apreciación de las cualidades antidetonantes de los carburantes; y por otra parte, el crecimiento de las temperaturas máximas del ciclo de la turbina fija, como consecuencia del empleo de fuels residuales, gracias a los nuevos aditivos.

Han despertado gran interés temas sobre motores de encendido por compresión para una amplia gama de combustibles y el problema del envenenamiento de la atmósfera por los productos de escape de los vehículos y por los humos industriales.

III. Lubrificantes

Las ponencias presentadas en esta sección sobre el estudio de los lubricantes o sobre la lubricación se pueden clasificar en tres categorías:

- a) Los que exponen el análisis de los fenómenos fundamentales, o al menos, las tentativas para aproximarse a ellos.
- b) Los que estudian nuevos aditivos en relación con su estructura.
- c) Los que examinan las aplicaciones de los productos o las tendencias principales en sus aplicaciones.

1. Análisis o tentativas de explicación de los fenómenos fundamentales.

Los autores de la (18) examinan la estructura de las soluciones de los soles orgánicos (órgano-sels), utilizados como aditivos detergentes en los aceites minerales.

Los datos obtenidos representan una contribución interesante para el conocimiento de estos fenómenos, aunque queda mucho por hacer antes de que quede aclarado el fenómeno de la detergencia.

2. Estudio de los nuevos aditivos en relación con su estructura.

Los autores rusos no han presentado su trabajo, pero no por ello es menos interesante.

La ponencia (19) detalla el estudio de numerosos compuestos orgánicos del fósforo de estructura variada, efectuando el estudio del comportamiento de estos productos como anti-oxidantes, detergentes, anti-corrosivos, anti congelantes y tratando de relacionarlo con las propiedades de las estructuras químicas.

B. Aplicaciones de los productos y tendencias principales de sus aplicaciones.

En la ponencia (22) se examinan las tendencias del desarrollo de los aceites en relación con el trabajo de los metales.

La ponencia (17) examina los aceites para las turbinas en lo que concierne al efecto de engrase de los engranajes, y muestra que la puesta a punto de un aceite conveniente, es un trabajo de gran esfuerzo, que necesita medios técnicos importantes.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *Solution française au problème des moteurs polycarburants*. F. GROSSHANS, J. OLLIER (Société Grossol), J. MARCADET, G. MONNOT et R. VICHNIEVSKY (Institut Français du pétrole).
Francia.
- (2) *Development of German Multifuel, Diesel Engines and their Significance*. R. M. EBERAN VON EBERHORST (Battelle Institut de Frankfurt).
Alemania.
- (3) *Les générateurs à pistons libres et l'industrie du pétrole*. M. E. BARTHALON (S. I. G. M. A.).
Francia.
- (4) *Swiss Experience with Fuel Additives in Gas Turbines*. Escher Wyss A. G. and SULZER Brothers Ltd.
Suiza.
- (5) *Advances in Gas Turbines and Free Piston Engines and their Impact on the Petroleum Industry*. G. W. FERGUSON (Texas Company).
U. S. A.
- (6) *Economic Aspects of Raising Compression Ratio and Octane Quality*. J. B. DUCKWORTH, E. W. KANE, T. W. SEIN et T. O. WAGNER (Standard Oil Cy).
U. S. A.
- (7) *Comparison of Performance and Octane Number Requirements of American and European Cars*. G. B. CIPOLLINA, G. A. DICKENS, O. P. MEESE et P. A. MERONNEAU (Mobil Oil di'Italie, Grande-Bretagne, Allemagne, France).
- (8) *Road Octane Number of Past, Present and Future Gasolines*. D. M. A. MASTERMAN, E. B. V. POTTER, A. SKULL et C. H. SPRAKE (Esso Research).
Inglaterra.
- (9) *Octane Requirements of Italian Passenger Cars*. F. G. SEZZI (E. N. I.).
Italia.
- (10) *Antiknock Compounds Research, Development and Refinery Application*. H. J. GIBSON, W. B. LICHT et T. W. WARREN (Ethyl Corporation).
U. S. A.
- (11) *A Review of Research on Abnormal Combustion Phenomena in Internal Combustion Engines*. L. S. ECHOLS, V. E. YUST et J. L. BAME (Shell Oil).
U. S. A.
- (12) *Oxidation Inhibitors for Modern Fuels*. T. R. LUSEBRINK, H. B.

- MINOR, A. C. NIXON and B. M. STECKLER (Shell Development Cy).
U. S. A.
- (13) *Investigations into the Composition of Diesel Engine Exhausts*. C. L. BAILEY, A. R. JAMES and J. K. LOCK (The British Petroleum Cy).
Inglaterra.
- (14) *Small Equipment for Engine Testing of Jet Fuels*. G. SPENGLER and H. GEMPERLEIN.
Alemania.
- (15) *New Thickener System Extends Range of Multipurpose Greases*. J. J. KOLFENBACH and A. J. MORWAY (Esso Research and Engineering).
U. S. A.
- (16) *Non-Soap Lubricating Greases*. L. C. BRUNSTRUM (Standard Oil).
U. S. A.
- (17) *The Development of EP-Oils for Reduction Gears on Steam Turbines and Hydraulic Torque Converters*. H. L. STEINBACK (B. P. Benzin und Petroleum A. G.).
Alemania.
- (18) *Colloid Aspects of the Performance of Oil-Soluble Soaps as Lubricant Additives*. W. D. BASCON, S. KAUFMAN et C. R. SINGLETERRY (U. S. Naval Research Laboratory).
U. S. A.
- (19) *The Bearing Performance and Elastic Properties of Polymer Thickened Lubricating Oils*. H. H. HOROWITZ, F. E. STEIDLER et E. O. FORSTER (Esso Research and Engineering Company).
U. S. A.
- (20) *Synthetic Additives for Lubricating Oils Influence of Additive Structure on their Activity*. P. I. SANIN, A. M. KULIEV, V. V. SHER et K. K. PAVOR (Académie des Sciences).
Rusia.
- (21) *Boundary Lubrication of Titanium*. E. RABINOWICZ (Massachusetts Institute of Technology).
U. S. A.
- (22) *Cutting Fluids*. R. K. GOULD (Texaco Research Center).
U. S. A.
- (23) *The Effect of High Temperature on Friction and Wear*. Douglas GODFREY (California Research Corporation).
U. S. A.
- (24) *Trends in Marine Lubrication*. G. A. DICKENS and L. W. MANLEY (Mobil Oil Cy).
Inglaterra.
- (25) *Clean, Efficient Combustion of Heating Oil*. Robert L. WEEKS, William L. CLINKENBEARD (Esso Research and Engineering Cy), and Joseph D. SOLTIS (Esso Standard Oil Cy).
U. S. A.

- (26) *Industrial Applications of Residual Fuel Oil*. W. E. J. BROOM and C. A. ROAST (Esso Petroleum Cy).
Inglaterra.
- (27) *Durability of Bitumen in Theory and Practice*. P. C. BLOKKER and H. VAN HOORN (Koninklijke/Shell laboratorium).
Holanda.
- (29) *Road and Laboratory Experiments on Bitumens from Western Hemisphere and Middle East Crudes*. P. J. WAY, H. I. FULLER, T. LES et A. WINWARD (Esso Research Limited).
Inglaterra.
- (30) *The Properties of Petroleum that Supply World Trade Especially Venezuelan Petroleums*. G. Théry FOMBONA, L. J. CORDERO et W. L. NELSON (Ministère des Mines et des Hydrocarbures).
Venezuela.

SECCIÓN VII.—CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS ANTICORROSIVOS.

A pesar de la diversidad de los temas presentados en esta sección, los podemos clasificar en tres grupos principales:

- a) Contaminación del aire y del agua por los productos petrolíferos
- b) Corrosión por el agua del mar, preocupación constante del encargado del refino después de tratar el petróleo crudo. Los «epoxy resinosos» son experimentados por varias sociedades para suplantar la protección catódica que es molesta, irregular y exige una vigilancia frecuente.
- c) Investigación aplicada a todos los sistemas complejos, técnicos y económicos.

Contaminación del agua y el aire por los productos petrolíferos.

La contaminación del agua y del aire por los residuos de las refinerías acapara la atención no sólo en los técnicos de explotación, sino también de los ingenieros de las oficinas de proyectos.

A. W. W. Kirby, especialista de esta cuestión, insiste en que estos problemas deben ser estudiados en los proyectos de las instalaciones y enumera los ejemplos en los que con esta preocupación se ha podido encontrar soluciones adecuadas, relativas, sea al procedimiento propiamente dicho, o sea al modo operatorio. El citado autor hace votos por una colaboración más estrecha e intercambio de informaciones en esta materia.

Corrosión y protección del material.

Debido a los múltiples aspectos de la corrosión se han presentado numerosos trabajos.

La electroprotección parece haber encontrado una seria competencia en las resinas sintéticas aplicadas bajo forma de pinturas.

Diversos trabajos tratan de problemas particulares, como corrosión a alta y baja temperatura en las centrales modernas; quemadores de fuel (vanadio y aditivos); estudio analítico de la erosión en los sistemas fluidificados y establecimiento de las fórmulas que permiten calcular el gasto por erosión: fabricación francesa de tubos y válvulas resistentes a condiciones de explotación muy severas en los yacimientos de Lacq, y utilización de estas técnicas particulares en la fabricación de ciertas piezas especiales para los equipos de refinerías.

Estudio, construcción y operación.

Los rusos han presentado dos ponencias: una trata de la concepción y rendimiento de los reactores industriales susceptibles de mejora por el control de las concentraciones del régimen de temperatura en las zonas de reacción: la segunda ponencia expone una teoría general de circulación utilizada en la industria química, teoría que permite elegir la solución más económica para el tratamiento complejo de las materias primas químicas en un sistema de fábricas interdependientes.

Por último, señalaremos algunas ponencias sobre temas muy particulares como:

Utilización de los sistemas hidráulicos en la industria del petróleo.

Refuerzo de orificios practicados en las partes esféricas de depósitos bajo presión.

Causas y prevenciones de las explosiones en las refinerías.

El problema del ruido en una gran refinería moderna.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *Pollution prevention through and operation*. A. W. W. KIRBY (Shell Refining Co.).
Inglaterra.
- (2) *Air pollution prevention through engineering, design and operation*. L. A. CASTLER, Gerald FISHER and F. A. MANLEY (General Petroleum Corporation).
U. S. A.
- (3) *The biological decomposition of naphthenic acids in a refinery effluent stream*. R. R. FERNER (Shell Refining Co.).
Inglaterra.
- (4) *Erosión in gas-solid systems*. A. J. VAN RIEMSDIJK et J. G. A. BITTER (Koninklijke Shell laboratorium).
Holanda.

- (5) *Dynamics and Control of Continuous distillation columns.* O. RADEMAKER et J. E. RIJNSDORP (Koninklijke/Shell laboratorium; Holanda).
- (6) *The Use of hydraulic systems in the oil industry.* E. F. BOON and W. M. J. SCHLÖSSER (Institute of Technology, Delft). Holanda.
- (7) *Reconciliation of american and european steel specifications.* M. S. NORTHUP and A. R. CIUFFEDA (Esso Research and Engineering). U. S. A.
- (8) *Corrosion in salt water cooling systems.* E. D. DOLAN (The British Petroleum Company). Inglaterra.
- (9) *Quality control in the manufacture of process plant equipment.* J. F. LANCASTER (Kellogg International Corporation). Inglaterra.
- (10) *Epoxy resin coatings in the oil industry.* Par. I: H. W. HOWARD (Shell Chem. Co. N. Y.), F. T. RADECKE (Shell Oil Co. N. Y.) and P. R. SCHEIBL (Shell Develop. Co. Emeryville, Calif.) Part II: A. J. WILDSCHUT and J. J. ZONSVELD (Royal Dutch Shell Plastics Laboratory, Delft) U. S. A. y Holanda.
- (11) *Fire side corrosion in oil-fired.* L. K. RENDLE, R. D. WILSON et G. WHITTINGHAM (British Petroleum Company). Inglaterra.
- (12) *Corrosión and its prevention for oil tanks.* Masao SEO (Ministry of Transportation) et Shinichi TAKESHIMA (The Nippon Corrosion Engineering Co.). Japón.
- (13) *Some problems in the mechanical design of process plants.* R. B. SCHMITH et D. B. ROSS (M. W. Kellogg Cy). U. S. A.
- (14) *Use of a large computer in making economic design.* J. W. KILLET et A. S. PERLEY (Esso Research and Engineering Cy). U. S. A.
- (15) *Instrumentation, automation and design of systems for their use.* James Mc DONALD (Fidewater Oil Co.). U. S. A.
- (16) *Principles of improving flow reactor Efficiency in petrochemical processes.* A. N. PLANOVSKY (Moscow Institute of Chemical Engineering), D. I. OROCHKO et A. P. ZINOVIEVA (All-Union Institute for Research on the Refining of Oil and Gas and the Production of Synthetic Fuel). Rusia.
- (17) *Progrès réalisés en France dans la fabrication des tubes et des cannes résistant à des conditions spéciales de corrosion.* P. BASTIEN, C. ROQUES et H. VERON (Forges et Ateliers du Creusot).

- L. COLOMBIER et J. HOCHMANN (Ateliers et Forges de la Loire). J. DAUVERGNE (Aciéries de Longwy, Senelle-Maubouge, Escaut et Meuse), J. MARCHANDON (Compagnie des Tubes de Normandie), E. HERZOG, A. SPAIER et V. CHESTRE (Aciéries de Pompey) et Société Vallourge. Francia.
- (18) *Reinforcements around holes in spherical parts of pressure vessels.* M. J. BOTTEMA (Netherlands Government Steam Equipment and Pressure Vessel Supervision Service, The Hague). Holanda.
- (19) *Causes and prevention of explosions in petroleum processes.* F. H. BLUNCK, F. N. SCHEINEMAN et R. B. JACOBS (Standard Oil Cy) U. S. A.
- (22) *Theory of complex recycling processes of petrochemical synthesis.* M. F. NAGIEV (Académie des Sciences, Bakú). Rusia.
- (23) *Noise problems in a large refinery.* I. F. S. ROBINSON et M. B. SHIRLEY (Esso Petroleum Cy). Inglaterra.
- (24) *Factors influencing the economic use of high yield point steels.* Fred L. GOLDSBY (Chicago Bridge and Iron Cy). U. S. A.

SECCIÓN VIII.—ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN.

Los rusos han presentado una técnica original, aplicable a la construcción de depósitos de almacenamientos clásicos de capacidad inferior a los 10.000 m³. Este método, ya se ha experimentado en 1948-49 y en la actualidad es el utilizado normalmente en la U. R. S. S.; consiste en prefabricar en el taller los anillos, fondos y techos de los depósitos, enviándolos a los sitios previstos, donde el montaje resulta muy rápido. Si bien los autores señalan las ventajas de esta técnica (reducción de la duración de construcción y del precio de venta), por el contrario, no dan ningún dato sobre las tolerancias del diámetro del depósito después de desarrollado.

Técnicos de la Creole Petroleum Company han experimentado la construcción de grandes depósitos impermeables de tierra con una capa interior de arcilla para el almacenamiento de aceites pesados. Los ensayos que se han efectuado sobre capacidades de 600.000³ a 1.300.000 m³ han demostrado que las pérdidas por infiltración eran nulas.

Una comunicación francesa trata sobre el almacenamiento subterráneo de gas. Si en Estados Unidos se puede practicar esta técnica fácilmente en antiguos yacimientos petrolíferos abandonados, por el contrario en Francia se deben buscar estos almacenamientos en capas acuíferas no consolidadas.

Problemas de explotación de almacenamientos son tratados por Ro-

gers y Schleckser estudiando la formación de cargas electrostáticas durante los bombeos en los depósitos, preconizando diversas soluciones, principio de distensión, neutralización por electrodos, aditivos ionizantes. Describen igualmente los métodos de medida de la tendencia a la carga y el cálculo de los potenciales electrostáticos de superficie.

Oleoductos.

La construcción y explotación de los oleoductos han dado lugar a informes muy interesantes:

F. S. Jofes describe el éxito que se ha alcanzado con los rayos y ondas ultracortas, consiguiéndose satisfacer la necesidad constante de comunicaciones, para la explotación de una red de oleoductos. Italia y Estados Unidos muestran un nuevo ejemplo de aplicación de esta operación. El desarrollo del transporte por oleoducto, dada la complejidad de la operación, necesita una automatización y utilización de registradores electrónicos que permiten llevar la contabilidad de las operaciones con la máxima rapidez.

Para el revestimiento de los oleoductos, están puestas grandes esperanzas en los «epoxy butoxy-resinas», en la lucha contra la corrosión.

Algunos expusieron los resultados de los estudios sistemáticos de los revestimientos sintéticos, que revelaron notables propiedades físicas y químicas. La calidad de la protección está en función del tipo de resina y del modo de aplicación.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *The role of the sea transportation in the petroleum industry*. LOREN F. KHALE et A. J. KELLY, Jr. (Standard Oil Co. New Jersey). U. S. A.
- (2) *Operations research applied to marine transportation and tankage problems*. D. S. MC ARTHUR et B. A. SACHS (Esso Research and Engineering Co. Linden, New Jersey), W. N. MC CURDY et J. B. SACKSON (Creole Petroleum Corporation, Caracas). U. S. A.
- (3) *Ocean transportation of liquid methane*. J. A. MURPHY et C. G. FILSTEAD (Constock International Methne Limited).
- (4) *The significance of the increasing number and size of diesel tankers for economic transportation of fuel*. H. ANDRESEN (Burmeinte Wain). Dinamarca.
- (5) *Progrés et dimensions des navires pétroliers*. René GASQUET (Compagnie Navale des Pétroles). Francia.
- (6) *Industrial methods for building oil tanks in the Soviet Union*. E. A. IGNATCHENKO, G. V. RAYEVSKI et B. V. POPOVSKY. Rusia.

- (7) *Earthen storage reservoirs for petroleum*. D. O. WILKES, W. F. HAGEN et R. E. NYSTROM (Creole Petroleum Corporation). Venezuela.
- (9) *Techniques employées pour l'étude et la réalisation de stockages souterrains de gaz dans des réservoirs aquifères*. E. CLARAC (S. N. P. A.), R. MONICARD (Institut Français du Pétrole) et L. RICHARD (Gaz de France). Francia.
- (10) *Engineering and theoretical studies of static electricity in fuels*. D. T. ROGERS et C. E. SCHLECKSER (Esso Research and Engineering Co. Linden). U. S. A.
- (11) *Experience in turbine fuel quality control*. D. N. HARRIS and G. T. G. T. COKER (Shell Oil Company). U. S. A.
- (12) *Microwave communication in pipe-line communication*. Fred S. JONES (Platte Pipe-Line Company, Kansas City). U. S. A.
- (13) *Automation in pipe-line transportation of liquid and gaseous hydrocarbons*. (Societa Nazionale Metanodotti). Italia.
- (14) *Scheduling and Control of multiple pipe-line tenders by electronic computer*. W. G. HORSTMAN, G. W. CHISM and W. R. Mc DONALD (Plantation Pipe-Line Company, Atlanta, Georgie). U. S. A.
- (15) *Construction, operation and maintenance of offshore pipe-lines*. S. U. COLLINS (Collins Construction Co., Port Luvaca, Texas). U. S. A.
- (16) *Electrical heating of pipe-line carrying viscous products*. C. F. MARES (British Petroleum Co.). Inglaterra.
- (17) *Synthetic pipe-line coatings*. M. J. DABNEY, O. C. SLOTTER and D. F. KOENECKE (Esso Research and Engineering Co.). U. S. A.
- (18) *Costody transfer by displacement meters*. L. S. WRIGHTSMAN (Humble Pipe-Line Company, Houston, Texas). U. S. A.
- (19) *Optimum routing of gasoline delivery trucks*. G. B. DANTZIG (The Rand Corporation, Santa Mónica, California) et J. H. RAMSER (The Atlantic Refining Co., Philadelphia). U. S. A.
- (20) *Marketing research methods in the american petroleum industry*. J. W. BOATWRIGHT and Blaine COOKE (Standard Oil Co. of Indiana). U. S. A.

SECCIÓN IX.—ESTADÍSTICA, ECONOMÍA, ENSEÑANZAS.

De las 21 ponencias anunciadas, solamente 14 fueron presentadas. De éstas, algunas por su carácter puramente matemático fueron incomprensibles para la inmensa mayoría de los congresistas. Las discusiones fueron poco animadas y en muchas de ellas no ha habido ningún congresista que haya intervenido. La ponencia rusa estaba dedicada a la enseñanza y fue desgraciadamente retirada por los autores.

Las tres primeras ponencias presentadas, versaban sobre las necesidades energéticas del mundo y el papel del petróleo para satisfacerlas. Estas tres comunicaciones fueron semejantes.

El estudio de los diversos balances energéticos fue motivado por el inevitable incremento de las necesidades de energía, cuyo tanto por ciento anual mundial se calcula en 3,75 por 100 para 1975.

La evolución del consumo de las diferentes formas de energía primaria expresado en el porcentaje global de energía, muestra una disminución constante en el consumo de combustibles sólidos y el aumento correspondiente de las otras formas de energía.

Se prevee que el petróleo será la forma de energía primaria más importante del balance energético mundial, se calcula que en 1975 su aportación pasará del 40 por 100 del total de este balance.

El consumo de gas natural se cree que se triplicará en los próximos veinte años y en 1975 llegará hasta un 18 por 100 de las necesidades globales de energía.

La producción de energía hidroeléctrica aumentará, en valor absoluto, con el aumento de la potencia instalada, pero su aportación al balance total en 1975 se aproximará a un 7 u 8 por 100.

Los últimos resultados de las numerosas experiencias en el campo de la energía nuclear, no han podido aclarar el problema del tipo de reactor capaz de dar un rendimiento conveniente y en el cual el precio de venta sea aceptable para un programa importante de centrales nucleares de gran capacidad.

Basándose en hipótesis medias, se prevee que para 1975 la aportación de la energía nuclear no pasará del 4 por 100 del total de necesidades mundiales de energía.

Las experiencias de los últimos años han hecho resaltar hasta qué punto una expansión rápida de la actividad económica ha exigido un aumento insospechado del aprovisionamiento de energía y pone de manifiesto que sólo la flexibilidad estructural de la industria petrolífera permite responder a tales exigencias.

Otras tres ponencias presentadas están consagradas a problemas económicos y de ellas, dos son puramente matemáticas.

Las dos ponencias siguientes, están dedicadas, una, al aspecto económico del emplazamiento de las refinerías en Estados Unidos y, otra a la dimensión de estas refinerías en Europa.

Livingston, dijo que las refinerías americanas reciben el bruto de los yacimientos nacionales por oleoductos o del extranjero en barcos-cisterna y deben cubrir con su producción las necesidades de las zonas de mercado que están muy diseminadas en todo el territorio. Por ello, los dos factores principales que determinarán la elección del emplazamiento de una refinería, serán:

a) La dimensión de las unidades, que es función de la importancia del mercado susceptible de ser aprovisionado.

b) El costo del transporte del petróleo bruto y de los productos finales.

Comparando las ventajas de una gran refinería donde las inversiones por unidad de volumen son escasas, pero su organización compleja y onerosa, con una pequeña refinería caracterizada por la simplicidad de su fabricación y gran economía de la misma, el autor concluye exponiendo las ventajas de las refinerías de gran capacidad, remarcando, sin embargo, que si estas ventajas son innegables cuando no se pasa de 2.300 a 8.000 m³/día, por el contrario, de 8.000 a 16.000 m³/día, la situación es menos clara y depende de las condiciones particulares y locales.

El costo del transporte del bruto es más reducido que el de los productos refinados, por lo que las refinerías se establecerán, preferentemente, en las zonas de mercados importantes, con la posibilidad de recibir económicamente brutos de origen diverso, a fin de poder asegurar la producción de toda la gama de los productos petrolíferos.

Frankel y Newton consideran las refinerías europeas (excluyendo las de la zona de influencia soviética) y las situadas al otro lado del mar, en zonas de producción, que contribuyen a la economía petrolífera de Europa.

Los autores proponen la clasificación de estas refinerías en fábricas asociadas a la producción, fábricas intermediarias y fábricas asociadas a los mercados. Presentan estos autores el desarrollo, en el curso de los últimos veinte años, así como las previsiones para un futuro próximo, poniendo de relieve el desarrollo de las refinerías asociadas a los mercados.

Seguidamente, presentan los factores económicos, técnicos y políticos que condicionan las dimensiones y el emplazamiento de los centros de refino.

La ley de reducción del precio de coste por unidad de volumen en función de la capacidad, es igualmente valedera para Europa, donde la experiencia demuestra que las refinerías de 8.000 a 12.000 m³/día ofrecen la máxima rentabilidad, teniendo en cuenta la importancia de los mercados europeos.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

(2) *Statistical data required for industrial management*. (Statistical Office of the United Nations).

U. S. A.

- (3) *Some major determinants of future oil requirements and supplies.* Walter J. LEVY and Milton LIPTON (W. J. Levy, Inc.).
U. S. A.
- (4) *The role of petroleum in world energy supplies.* Nathaniel B. GUYOL (Standard Oil Company of California).
U. S. A.
- (5) *Les prévisions de besoins énergétique du monde et l'importance du pétrole comme forme d'énergie primaire.* Paul R. DE RYCKERE.
Belgica.
- (7) *World oil trade and international payments.* Bernard T. STOTT (The First National City Bank of New York).
U. S. A.
- (8) *On multiples rates of return.* H. C. LEFKOVITS, H. KANNER (Shell Development Company) and R. B. HARBOTTE (Shell Oil Company).
U. S. A.
- (9) *Economies of refinery location in the United States.* S. MORRIS LIVINGSTON.
U. S. A.
- (10) *Current economic trends in location and size of refineries in Europe.* P. H. FRANKEL and W. L. NEWTON.
Inglaterra.
- (11) *A method for solving the fixed-charge problem and its applications.* G. A. GROES (N. V. De Bataafsche petroleum Maatschappij).
Holanda.
- (12) *Better Budgeting by operational descarch.* I. J. GOVIER and E. F. CHOPPEN (Esso Petroleum Company).
Inglaterra.
- (13) *Mathematical tools in optimization of operations.* W. W. LEUTERT (Tidewater Oil Company).
U. S. A.
- (15) *Information research. A new tool for the petroleum industry.* G. H. CLOUD (Technical Information Section, Jersey Production Research Company, Tulsa, Oklahoma) and W. T. KNOX (Esso Research and Engineering Company).
U. S. A.
- (19) *Sources of Statistical information for the petroleum industry.* Margaret M. Roco (Standard Oil Company of California).
U. S. A.
- (20) *India's energy requirements and the role of petroleum.* K. K. SAHNI (Ministry of Steel, Mines and Fuel).
India.

SECCIÓN X.—APLICACIONES DE LA ENERGÍA ATÓMICA A LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO.

La misión de la Sección X del V Congreso Mundial del Petróleo, fue reunir los informes referentes al desarrollo de la energía atómica aplicada a la industria del petróleo. Se presentaron 18 comunicaciones, las cuales se clasifican en tres grupos.

1.º Progreso de la prospección con la aplicación de los métodos atómicos.

2.º Porvenir de la energía atómica y de la energía petrolífera.

3.º Química por radiación.

En la actualidad se utilizan en gran escala las técnicas nucleares aplicadas a la prospección y producción del petróleo.

Tienen gran importancia las testificaciones radioactivas, que permiten determinar la porosidad de las formaciones con gran exactitud. Los métodos nucleares serían aplicados a los sondeos en un 70 ó 60 por 100. Entre 1955 y 1957 se han economizado cerca de 24.000 dólares, gracias a ellos.

Otra aplicación sería las explosiones atómicas subterráneas que, según el Dr. Teller, se pueden practicar sin gran riesgo de contaminación, para la puesta en producción de un yacimiento de arenas petrolíferas, sin que se conozcan aún los resultados; pudiéndose utilizar también el calor producido por la explosión.

Una de las conferencias más interesantes fue la de Mr. Wilson, quien trató de responder a la pregunta: «¿La energía atómica va a desplazar a la energía petrolífera?» Después de su disertación concluyó diciendo que todos los expertos están de acuerdo en que la energía atómica no podrá hacer la competencia a las otras fuentes de energía antes de veinticinco años.

Uno de los miembros de la A. E. C. declaró que ninguna de sus instalaciones son comerciales. En el mejor de los casos costarán dos veces más que las instalaciones clásicas y no habrá economías de combustible.

En Shippingport, solamente la fabricación de los elementos combustibles será tan costosa, como el precio total de la energía obtenida en las instalaciones clásicas.

Sin embargo, el primer mercado que se verá afectado dentro de unos veinticinco años, será el del fuel. Teniendo en cuenta que las centrales eléctricas no utilizan más que el 2.5 por 100 de las necesidades de fuel-oil pesado en los Estados Unidos. Por tanto, la energía atómica no amenaza por ahora a esta rama de la industria, para la cual el carbón representa un peligro mucho mayor. A lo sumo, la energía atómica ayudará al petróleo a cubrir las necesidades crecientes de energía.

En los demás países el problema es algo diferente.

Se ha dicho, con frecuencia, que la energía atómica está particularmente indicada para los países menos desarrollados, lo cual no es cier-

to, ya que estos países no pueden soportar el peso de una gran instalación atómica (con precio de kilovatio en fábrica, bajo).

Estos países no tienen ni la potencia industrial para absorber esta energía, ni la base intelectual necesaria para asegurar su funcionamiento. Esta forma de energía sólo puede interesar a los países muy industrializados. Entre éstos, Inglaterra constituye un caso particular, porque se están agotando sus reservas de carbón y no tiene tampoco gran energía hidráulica. Por lo tanto, es natural que los ingleses piensen construir de aquí a 1965 instalaciones para obtener, 5.000.000 de kilovatios, o sea del 20 al 25 por 100 de su potencia hidráulica instalada. La recuperación del plutonio con fines militares, permitirá reducir artificialmente los precios del kilovatio.

En los demás países de Europa se cree que la energía atómica podrá llegar a ser comercial unos cinco años antes que en los Estados Unidos. Pero no afectará a esta industria, ya que en Europa solamente el 3 por 100 de la electricidad es de origen petrolífero.

Empleo de los trazadores.

Uno de los informes trata de la localización de los hidrocarburos, fundada en la energía de retorno de un átomo de carbono 14 obtenido a partir del átomo de nitrógeno de un compuesto nitrado, sometido a un flujo de neutrones.

Para ello se utiliza la cromatografía de fase gaseosa, por haber sido demostrado que los procedimientos de purificación clásicos no eran lo suficientemente eficaces para separar los cuerpos deseados.

Con este procedimiento de separación, estudia el autor el rendimiento en hidrocarburos marcados, obtenido en función de la estructura del hidrocarburo de partida.

Tratamiento de los lubricantes por radiación.

El primer artículo de esta serie trata, principalmente, de la influencia de la radiación sobre la resistencia a la oxidación de diversos aceites. Con dosis de radiación para las que las propiedades físicas estén aún poco afectadas, la casi totalidad de la resistencia a la oxidación ha desaparecido en los aceites que contienen inhibidores a la oxidación. Las variaciones de viscosidad por radiación de diversos aceites, han quedado igualmente estudiadas.

Todas estas consideraciones nos llevan a presentar un nuevo tipo de lubricantes: los éteres polifenólicos. Su resistencia a las radiaciones, en término del crecimiento de la viscosidad es excelente. La resistencia a la oxidación a alta temperatura y bajo radiación, es también muy buena.

El único inconveniente es su viscosidad elevada a baja temperatura

Química por radiación.

El informe de Lucchesi y sus colaboradores, después de resumir las generalidades sobre la radioquímica, empiezan por el estudio de la polimerización de hexadecano a la temperatura ambiente, y después someten estos hidrocarburos a dosis muy fuertes de radiación y observan la formación de olefinas y productos pesados, pero las dosis son demasiado fuertes, para que nos puedan servir, para comprender el mecanismo primario de la radiólisis.

COMUNICACIONES PRESENTADAS EN ESTA SECCIÓN:

- (1) *Probable Impact of Atomic Energy on the World Petroleum Industry.* R. E. WILSON.
U. S. A.
- (2) *Peaceful Uses of Atomic Explosives.* Edward TELLER (University of California).
U. S. A.
- (3) *Technical and Economic Prospects of Utilizing Atomic Radiations in the Petroleum Industry.* Clark GOODMAN (Schlumberger Well Surveying Corporation-Ridgefield).
U. S. A.
- (4) *Radioisotopic Compounds Measure Fractionation in the Refinery.* B. A. FRIES, D. E. HULL and R. J. DUPZYK (California Research Corp.).
U. S. A.
- (5) *Recoil Tagging of Petroleum Hydrocarbons.* F. F. FARLEY and B. E. GORDON (Shell Oil Cy).
U. S. A.
- (6) *Radioisotopes in Fuel and Lubricant Research.* M. J. FUREY and J. E. KUNC (Esso Research Engineering).
U. S. A.
- (7) *Use of Short Lived Isotopes in the Petroleum Industry.* Abel DE HAAN (Tracerlab).
U. S. A.
- (8) *Quelques aspects particuliers de la radiolyse et de quelques réactions sous radiations des hydrocarbures en phase liquide.* M. J. GROSMAING (Compagnie Française de Raffinage).
Francia.
- (9) *Radiation Promoted Hydrocarbon Reactions.* Peter J. LUCCHESI, Donald L. BALDER and John L. LONGENW (Esso Research and Engineering Cy).
U. S. A.

- (10) *The Radiation Chemistry of Light Hydrocarbons*. F. W. LAMPE
Humble Oil and Refining Cy).
U. S. A.
- (11) *Studies in the Radiation Chemistry of Petroleum Hydrocarbons and
the Applications of Nuclear Radiation to the Petroleum Indus-
try and Petrochemical Synthesis*. V. T. TOPCHIEV, K. P. LAV-
ROVKY, L. S. POLACK, A. M. BRODSKY et Yú. A. KOLBANOVSKY
(Académie des Sciences).
Rusia.
- (12) *The Effect of Gamma Radiation on the Thermal Decomposition of
Light Paraffinic Hydrocarbons*. M. F. HOARE, T. A. GARBETT,
R. E. PEEG (Esso Research Ltd).
Inglaterra.
- (13) *Effect of Radiation on the Stability of Synthetic Lubricants*. C. L.
MAHONEY, E. R. BARNUN, W. KERLIN, K. J. SAX and W. S.
SAARI (Shell Development Cy).
U. S. A.
- (14) *Lubrication Requirements of Nuclear Power Plants*. J. J. FREWING
and N. A. SCARLETT (Shell).
Inglaterra.
- (15) *Use of the Methods of Atomic Physics in Oil and Gas Prospecting
and Production*. G. N. FLEROV, F. A. ALEXEYEV, V. N. DAR-
HNOV, Yu A GULIN and Y. S. SHIMELEVITCH (Académie des
Sciences).
Rusia.
- (16) *Nuclear Well Logging in Petroleum Exploration and Production*.
William E. MOTT (Gulf Research and Development Cy) and
Nicholas M. EDIGER (The British American Oil Cy, Canadá).
U. S. A.
- (17) *Recent Advances in the Use of Nuclear Physics in Oil Well Sur-
veys*. A. H. YOUMANS and C. W. ZIMMERMAN (Well Surveys
Inc.).
U. S. A.
- (18) *Radiolyse et polymérisation des hydrocarbures oléfiniques*. Gabriel
DE GAUDEMARIS (Institut Français du Pétrole).
Francia.

C. M. C.

Notas bibliográficas

CRIADEROS

SANSELME, H. y GERSTNER, A.: *Les gisements d'uranium de la Chapelle-Largeau et de la Commanderie (Deux-Sèvres)*, «Rapport CEA», número 939, 1958.

Esta exposición constituye la primera monografía sobre los yacimientos de uranio de Deux-Sèvres y es complemento del estudio ya publicado anteriormente por los autores sobre el Ecarpière.

La mina de la Chapelle-Largeau, situada en la periferia del batolito de granulita de Mortagne, aparece estrechamente unida a la tectónica de contacto. El uranio aparece bajo su forma habitual de pechblenda, en una red de venillas de cuarzo hidrotermal, impregnado de brechas síliceas intergraníticas. Las brechas rellenan las fracturas de desprendimiento y las fallas, que dan un haz convergente de tres filones principales. El yacimiento descubierto en 1952, reconocido y preparado hasta 160 metros de profundidad, ha sido sometido a explotación en enero de 1958.

La mina de la Commanderie, situada a tres kilómetros al sur de la Chapelle-Largeau, ocupa en el centro del batolito un sistema de fractura desarrollada en las cercanías de una potente zona de milonitas. Descubierta en 1955, este yacimiento fué objeto de un ciclo completo de investigaciones sistemáticas y de superficie, así como por sondeos, después de un reconocimiento a dos niveles hasta los 95 metros de profundidad. Está sometido a explotación, y un segundo reconocimiento está en vías de realización hasta los 190 metros.

La mineralización se presenta bajo la forma de pechblenda y los productos negros que impregnan la granulita, está en masas irregulares y expuestas a lo largo de la falla principal N. S. La disposición del mineral ha necesitado para su reconocimiento una cuadrícula sistemática por paralelas, recortes, sondeos a percusión, chimeneas, así como una vigilancia geológica muy estrecha para seguir la marcha de las formaciones, la toma de muestras y calcular las reservas.

En las dos minas, la utilización de métodos estadísticos e interpretados por la observación geológica, han permitido una valoración correcta de las reservas, así como sus parámetros de explotabilidad. J. F.

ENERGIA

G. WHITE: *Rainmaking and prevention of evaporation as means of increasing the water resources of Australia*, Conferencia Mundial de la Energía, 5-9 de junio de 1960, Madrid.

La precipitación de lluvia sobre la mayor parte de Austria es pequeña y variable y la posibilidad de desarrollo hidroeléctricos y de riego es limitada. La Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, en consecuencia, ha tomado bajo su cargo un programa intensivo de investigación sobre la precipitación artificial de lluvia. Se han llevado a cabo experiencias de fecundación de nubes individuales y sobre extensas áreas de las mismas. En uno de estos experimentos, llevado a cabo sobre una vertiente montañosa durante cuatro años, se observaron aumentos significativos en la cantidad de agua precipitada.

La evaporación anual normal sobre la mayor parte de Australia es alta y la C. S. I. R. O. ha investigado también los métodos para su reducción. Se ha demostrado que capas monomoleculares de hexadecanol extendidas sobre la superficie de agua, pueden reducir considerablemente la evaporación y desarrollado métodos prácticos para el mantenimiento de dichas capas.—L. de A.

VLADIMIR ZEMAN y LEOPOLDO TINTER: *The Combustion of Low-Grade Fuels in Czechoslovak power installations*, Conferencia Mundial de la Energía, 5-9 junio 1960, Madrid.—

Después de examinar la situación del combustible en Checoslovaquia y las perspectivas de desarrollo futuro, el informe expone su influencia en la fabricación de caldera y hornos para la combustión de combustibles de calidad baja.

Se describen algunos tipos característicos de calderas y correspondientes equipos confeccionados para este fin, y se señalan las directrices que inspiran el diseño de nuevos hornos destinados a las centrales públicas de energía y a la industria en Checoslovaquia.

MURRAY, G. F. J.: *Petroleum-based and complementary uses as a source of industrial energy*, Conferencia Mundial de la Energía, 5-9 junio de 1960, Madrid.

Este trabajo trata del empleo como combustible de productos derivados del petróleo, en cuatro sectores industriales diferentes. Estos son: la manufactura del acero, fabricación de cemento, producción de vapor y producción de gas. Estos elementos, entre sí constituyen una parte significativa de la energía que hoy en día se necesita en el mundo. Se enfo-

can, por separado y en combinación, los diversos combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, describiéndose también los mecleros característicos. Por otra parte, se alude al empleo de combustible mezclado así como la utilización de petróleo destilado ligero de tipo no convencional.

Se menciona sucintamente a continuación la creciente tendencia hacia el empleo de combustible de petróleo, aparte del gas-oil, en instalaciones de gas pobre carburado con petróleo, y se establece una comparación de los resultados obtenidos cuando se usa gas-oil y destilados ligeros de petróleo.

Se describe, asimismo, la evolución de los procesos cíclicos catalíticos en la producción de gas para suministros de carga máxima y carga básica, y las tablas ilustran los rendimientos comparativos de diversas materias primas del petróleo.

Finalmente, expone a grandes rasgos, los usos que se pueden obtener de los productos del petróleo y hace hincapié sobre su correcta aplicación y sobre la necesidad de contar con instalaciones bien concebidas.

DAVIS, J. E.: *The use of oil refinery products for the Manufacture of town gas*, Conferencia Mundial de la Energía, 5-9 junio de 1960, Madrid.

Los autores comentan la extraordinaria situación de los combustibles en Europa, según la cual una escasez de carbón se ha convertido en una superabundancia, y sugiere que esto, quizá, sea algo más que una situación temporal y que es muy posible que esté desapareciendo permanentemente el mercado de combustibles sólidos ante la facilidad de conseguir combustibles refinados. Sin duda, el gas es uno de estos combustibles y está progresando rápidamente donde se dispone de gas natural. La industria de fabricación de gas, basándose en la carbonización del carbón, se vería dificultada por el problema de vender su combustible sólido, el coque, de no haber sido porque los adelantos técnicos han permitido la producción de gas sin consecuente producción de coque. Se dan cifras que muestran el ritmo de desarrollo en el empleo de productos derivados del petróleo para la fabricación de gas en la Gran Bretaña, y se discuten los métodos que se emplean. En la conclusión se pasa revista a la naturaleza de los procesos de gasificación del petróleo, se hace un análisis sobre los costos relativos de la obtención de los tres componentes del gas doméstico: gas rico, gas pobre y gas de lastre. Se llega a la conclusión de que la tendencia evolutiva en el futuro quizá tienda hacia un aumento del poder calorífico del gas distribuido. Se mencionan las tendencias actuales de investigación y se subraya la importancia de acelerar el trabajo sobre la gasificación del carbón.

ARMSTRONG, G.: *Exploration for coal Resources in Great Britain*, Conferencia Mundial de la Energía, 5-9 junio de 1960, Madrid.

La prospección geológica es la base del vasto programa de modernización y construcción de nuevas minas emprendido en Gran Bretaña por la Junta Nacional del Carbón. Únicamente después de haber obtenido un estudio geológico de una región, puede el ingeniero calcular detalladamente las reservas útiles y trazar los planos para una nueva mina o futura zona de explotación.

El estudio hace una breve reseña de la historia geológica de las cuencas carboníferas de Gran Bretaña y pasa a indicar cómo la información recibida de diversos organismos permite a los equipos de prospección fijar sus programas de trabajo. Al organizar estos programas, el geólogo debe considerar la naturaleza de las vetas de carbón, la composición del terreno que las recubre y toda dislocación o pliegue que las pueda haber afectado.

Aunque en Gran Bretaña se utilizan todos los medios de prospección, el método más corriente es la perforación. La cantidad de sondeos —cerca de dos millones de pies (600 Km.)—, realizados desde la nacionalización de la industria en 1947 sobrepasa probablemente lo que se había hecho en el curso de los cincuenta años precedentes. Una instalación de perforación marítima, inaugurada en 1955, que es probablemente la primera de su clase en el mundo, ha confirmado la extensión submarina de la cuenca carbonífera al este de Escocia. Otra instalación parecida funciona cerca de la costa nordeste de Inglaterra. Se discuten nuevas técnicas para la recuperación de la muestra del sondeo y se indica el procedimiento para su clasificación.

El autor describe el papel cada vez mayor que desempeñan los estudios sísmicos, resistividad, gravimétricos y magnéticos en las exploraciones geofísicas. Estos estudios, aunque rara vez proporcionan resultados precisos, ofrecen los medios de determinar, aproximadamente, la geología de la región en estudio, y de esta forma situar mejor los sondeos de exploración y precisar con mayor confianza la estructura de las formaciones existentes entre dichos sondeos.

En 1955, se alcanzó el máximo de perforaciones. Desde entonces han declinado, ya que las necesidades inmediatas de los ingenieros encargados del planteamiento, en lo que se refiere a información sobre las reservas, han quedado satisfechas; sin embargo, continúa la explotación a un ritmo más lento.—I. de A.

JOAN D. STANCESCO, STEFAN RADULESCO y MIRA VOINEA: *L'opportunité de la thermification urbaine dans les villes alimentées ou susceptibles d'alimentation au gaz naturel*, Conferencia Mundial de la Energía, 5-9 junio de 1960, Madrid.

Gracias a la economía de combustible lograda, la «termificación urbana (suministro de calor a distancia) constituye, por medio de la

producción combinada de energía eléctrica y calor, un medio importante de combatir la penuria de recursos energéticos.

Aunque la posibilidad de suministrar gas natural a las ciudades parece hacer desmerecer las ventajas de la «termificación» urbana, como consecuencia de sus superiores características para la distribución y combustión, aun así, la «terminificación» puede conservar su oportunidad técnica y económica.

Su eficacia, revelada en líneas generales, tanto por la reducción de gastos anuales, como por las menores inversiones de conjunto en todos los casos en que la economía de gas natural, realizada por la «terminificación», conduzca a la sustitución de una cantidad equivalente de un combustible más caro, se mantiene aún en presencia de grandes reservas de gas natural, debiéndose apreciar y relacionar directamente tal economía con este combustible.

En esta última hipótesis, para las zonas de climas medios y con una concentración más reducida en el consumo de carbón, se observa, en relación con las variantes de suministros separados, un ligero aumento de las inversiones que, sin embargo, puede ser recuperado por la diferencia de gastos anuales en períodos hasta los cinco años.

La introducción de la «termificación» en ciudades y edificios ya dotados de instalaciones para gas natural, sigue siendo económica, aún en la hipótesis de apreciar la economía de combustible en gas natural. En este caso, los correspondientes períodos de recuperación varían entre uno y ocho años, en función de la zona climática, del régimen de construcciones, etc.

Como en estos últimos casos, los edificios y los barrios nuevos estarán alimentados con gas natural, al igual que los ya existentes, la eficacia económica del establecimiento de la «terminificación» aumentará únicamente en los casos prácticos que se presenten posteriormente.—I. de A.

ESPELEOLOGÍA

BARANDIARÁN (J. M. DE) y FEDZ MEDRANO (D.): *Trabajos de la Sección de Prehistoria en las Jornadas Espeleológicas*, «Boletín Santo el Sabio», tomo III, números 1-2, 1959, Vitoria.

Reseñan los autores las investigaciones llevadas a cabo, durante las IV Jornadas Espeleológicas Vasco-Navarras, en el Cobacho le Mairuelegorreta y en la Gruta de Arrillor, con el descubrimiento de vestigios de industria prehistórica.—R. E.-R.

FERNÁNDEZ RUBIO (R. y F.): *Consideraciones geomorfológicas acerca de algunos fenómenos en el Karst del Gorbea* (Alava).

Se estudian una serie de formaciones hipógeas, relacionadas con la espeleogénesis del macizo.

La Gruta Artzegui es un talweg vivo, desarrollado a favor de soluciones de continuidad de tipo tectónico, en el que se observan terrazas de relapidación tectónica, y concreciones parietales en escama.

La Gruta de Arrillor funcionó por captura de un río exótico epigeo, dejando huellas de una intensa fase erosiva, seguida de otra de colmatación.

La Cueva de Sale El Agua, en plena génesis, y en la que puede reconstruirse su historia por la existencia de nagelfluch, así como por los fenómenos de cavitación y exudaciones calcíticas.

La Caverna de Mairuelegorreta, con sus nueve kilómetros de recorrido, es pródiga en fenómenos de soliflucción y subsidencia, así como graviclásticos. Se estudia la micro tectónica de un «campo de gours», y el fenómeno llamado «piel de leopardo».—J. V. L.

ERASO (A.): *Ensayo sobre la climática de Mairuelegorreta.*

Recopila y examina, el autor de este trabajo, una serie de mediciones efectuadas en dicha cavidad, con las que se fija la base para el estudio de su red hipógea.

Detalla las medidas climáticas relacionadas con los fenómenos de humidificación y desecación, y las químicas, resultado del análisis de cationes y aniones en las aguas de la caverna.

Así se llega, en determinadas zonas, a conocer las condiciones termodinámicas responsables de las decalcificaciones o de los procesos litogénicos, que suministran datos de gran valor para reconstruir la génesis de la cueva.—R. F.-R.

ERASO (A.), LLANOS (A.), AGORRET (J. A.) y FARIÑA (J.): *Karst del sudeste de Gorbea* (Alava).

Comprende el estudio de 14 cavidades, que se abren en calizas tectónicamente rígidas.

Los autores consideran, en la génesis y evolución del sistema de circulación subterráneo, el siguiente orden de prelación de causas: 1.º Descensos de nivel de base, 2.º Diaclasas, 3.º Planos de estratificación. Siguiendo en la actualidad dicha circulación hipógea una dirección general SE., según se comprobó con coloraciones de fluoresceína a partir del cauce subterráneo de Mairuelegorreta, que por su recorrido representa la segunda red subterránea de España.

Se hace un detallado estudio morfológico y genético de las cavidades del macizo.—R. F.-R.

FOTOGEOLOGIA

BERENGUER, J. C.: *Nouveaux critères d'interprétation en photogéologie*, «Rapport CEA», núm. 1.312, 1939.

El esquema tectónico de una región totalmente desprovista de afloramientos, puede ser obtenida por interpretación de zonas de humedad en el suelo. Los ensayos fueron efectuados en terreno granítico.

El factor de interpretación del operador es preponderante. El gris de estas zonas húmedas destaca más o menos netamente sobre el gris de sus alrededores. Esta diferencia de tono se sitúa a veces sobre el límite extremo de la apreciación visual.

Por ello, hay siempre interés de trabajar sobre una fotografía tirada por contacto, preferentemente que sobre la ampliación; sobre un papel brillante sobre todo, que sobre un papel mate, con el objeto de obtener un documento de máxima definición y de contraste.

Los ensayos efectuados en una zona granítica de la región fuertemente recubierta de vegetación del departamento de la Haute-Vienne son concordantes con los trabajos de las Hojas, con los sondeos y los trabajos mineros—L. de A.

GEOLOGIA

HENRI TERMIER y GENEVIÈVE TERMIER: *Erosion et sédimentation*, «Masson et Cie», 412 págs., 195 figs., 1960. Paris.

Esta obra, de lectura fácil y amena, está considerada por los propios autores como una introducción a la geología general y a la paleogeografía.

Plantea la importante cuestión del *actualismo*, con el objetivo de poder planear la historia terrestre casi enteramente partiendo de la observación actual de los fenómenos, con las restricciones propias del factor tiempo comparado con la duración de nuestra vida.

Podemos considerar como una primera parte, la referente a los diversos tipos de climas actuales y pasados, extendiéndose sobre las condiciones específicas de las glaciaciones cuaternarias.

En la segunda parte, insisten los autores en las relaciones íntimas que ligan la erosión y la sedimentación con la superficie terrestre y los mares: la sedimentación detrítica resultante directa de la erosión, la distribución de las formaciones salinas ligadas íntimamente con el poder disolvente característico de cada elemento de la hidrosfera, la existencia simultánea de la erosión-vegetación, que da lugar a la formación de los suelos, la sedimentación caliza originada principalmente por la activa vida marina, fenómenos que han tenido lugar a lo largo

de los tiempos geológicos y cuyo estudio permite la interpretación de la sucesión de capas que son el objeto de la estratigrafía.

Los once capítulos de la obra se titulan: Zonalidad y ciclo geográfico, Movimientos del suelo y gliptogénesis, La gliptogénesis submarina, Erosión y sedimentación, La sedimentación en los lagos, Los litigios de la margen continental: las lagunas, los estuarios y los deltas, La sedimentación marina, La sedimentación salifera, La sedimentación carbonatada, Algunos ejemplos de sedimentación marina compleja y Transformación de los sedimentos después de su deposición.

Como capítulo final figura uno de conclusiones, en el que se trata: Las cuasas de la erosión y de la sedimentación, Ciclos geoquímicos y pantaciclo e Importancia de la biosfera.

Trae una amplia bibliografía ordenada por temas, y dentro de ellos por orden alfabético de autores, y un índice general alfabético.

Las fotografías y figuras, son de muy buena calidad y la obra está muy bien presentada, la que suponemos será de utilidad grande para los geólogos, geógrafos y técnicos en general, que se dediquen a temas relacionados con la erosión y la sedimentación.—L. de A.

GEONUCLEONICA

TSAIHWA, J. COW y PATTERSON, C. C.: *Lead isotopes in Manganese nodules*, «*Geochimica et Cosmochimica Acta*», XVII, 21a-31, 1959, agosto.

Se ha determinado la composición isotópica del plomo aislado de los nódulos de manganeso de los océanos Atlántico y Pacífico. Los plomos del Atlántico son más radiogénicos que los del Pacífico. Las muestras del Pacífico tienen una tendencia al aumento del plomo radiogénico del NW, al SE. Las relaciones entre sitio de la muestra y composición isotópica de los plomos se pueden usar para determinar la trayectoria de la circulación de las masas profundas de agua. De los plomos oceánicos originados por los sistemas de rocas con uranio y plomo se diferencian apreciablemente sus edades, con valores inferiores a 4.5 por 10^9 años.—L. de A.

TUREKIAN, K. K.: *The terrestrial economy of helium and argon*, «*Geochimica et Cosmochimica Acta*», XVII, 37-43, 1959, agosto.

Determina la constante de degasificación a de la tierra, para el balance del argón-40, creando un modelo de continua degasificación de la tierra basado en los datos corrientes de la composición química de los meteoritos condriticos. El valor de a , suponiendo a la tierra una edad de 4.55 por 10^9 años, es 2.81 por 10^{11} años $^{-1}$. Se discute el balance del helio, en la suposición de que a es constante para todas las efusiones volátiles de la tierra. Con la misma premisa, la concentra-

ción primigenia de agua de la tierra sólida, independiente de la hidrosfera, se valora en 2.300 p. p. m., concordante con las condritas, que es 2.650 p. p. m. El pequeño valor de a fue constante durante los 4.55 por 10^9 años.—L. de A.

WILSON, A. T. y FERGUSON, G. J.: *Origin of terrestrial tritium*, «*Geochimica et Cosmochimica Acta*», XVII, 273 a 277, 1960, febrero.

Se ha demostrado como muy improbable la sugerencia de que el incremento de tritium de la tierra tenga un origen extraterrestre. La procedencia de tritium en la atmósfera terrestre por radiación cósmica, se ha calculado por los datos suministrados por el tritium contenido en los meteoritos (0.63 ± 0.1 H³ atom/cm²s) y también por el flujo de los rayos cósmicos y la teoría de la evaporación nuclear (1.3 ± 0.5 H³ atom/cm²s). Estos resultados son concordantes con el incremento del tritium terrestre 1.0 ± 0.3 H³ atom/cm²s. Esto conduce a que las reacciones de los rayos cósmicos en la atmósfera terrestre son las principales, sino las únicas, fuentes del tritium terrestre.—L. de A.

RUSSEL, R. D. y FARQUAR, R. M.: *Dating galenas by means of their isotopic constitutions-II*, «*Geochimica et Cosmochimica Acta*», XIX, 41 a 52, marzo 1960.

De la observación de la radiación isotópica del plomo de muchas muestras de galenas se ha establecido una correlación con el origen y edad de las mismas. Parece ser que existe una diferencia considerable con el origen. Destacan los plomos meteoríticos, plomos anómalos y plomos concordantes de ciertos criaderos de plomo. Los plomos meteoríticos y los concordantes, parece se originaron en un medio en que el torio y el uranio tenían propiedades similares, y que la relación entre ambas Th/U correspondía a $3:73 \pm 0:03$. Esto evidencia que ambas clases se desarrollan bajo condiciones determinadas. Al contrario, la relación Th/U durante la generación de los plomos anómalos es extraordinariamente variable, sugiriendo un ambiente oxidante.

Las técnicas de los autores para datación de las galenas, son considerada de nuevo estadísticamente y llegan a concluir de que el plomo puede proporcionar una información más amplia de la edad e historia del mineral, que la obtenida normalmente.—L. de A.

CANNON JR., R. S., STIEFF, L. R. y STERN, T. W.: *Radiogenic lead in nonradioactive minerals: A clue in the Search for uranium and Thorium*, 2 U. N. Geneve Conference, 1958.

Hacen consideraciones sobre plomo originario y radiogenico, asi como de la deposición que ocurra cerca o lejos de sus ascendentes, con lo que llega a destacar la importancia del análisis isotópico de los minerales de plomo como base de prospección de minerales de U y Th.

Establecen las variaciones teóricas de los plomos ordinarios en coordenadas tridimensionales y la situación en el diagrama según edades.

Aplica sus diagramas a plomos de criaderos de diversas procedencias.

Aunque se han dado algunas composiciones de plomos radiogénicos en minerales no radiactivos, no debe por eso desecharse la técnica propuesta.—L. DE A.

CANNON, R. S., PIERCE, A. P., ANTWEILER, J. C. y BUCK, K. L.: *Isotope geology of lead*, Rep. junio-noviembre, 1959, A. E. C.

Hicieron los autores una revisión de los datos isotópicos del plomo de los diez últimos años y recopilaron todo aquello que se relacionaba con la génesis del mineral. Estos estudios pueden tener tres orientaciones: génesis, origen y edad. Dan dos grupos de figuras que representan: Relación de plomos estables y ascendentes en la corteza terrestre, tanto originarios como radiogénicos; Diagramas trilineales para 1.280 minerales de plomo, con relación a Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} , con lo que se señala las composiciones que no es posible existan, así como las que puedan ocurrir en el futuro y las que han ocurrido en los últimos $4,5 \times 10^9$ a. Hipotética situación del 75 por 100 de todos los datos conocidos. Situación de los minerales de plomo radiogénico o de génesis a partir del U o del Th. Composición de varios plomos en rocas y menas, las cuales son concordantes, llegando por su semejanza a la conclusión de una génesis común.—L. DE A.

GEOQUIMICA

WHITFIELD, J. M., ROGERS, J. J. W. y ADAMS, J. A. S.: *The relationship between the petrology and the thorium and uranium contents of some granite rocks*, «Geochimica et Cosmochimica Acta», XVII, 241 a 271, 1959, noviembre.

El torio y el uranio, contenido en las rocas graníticas, está íntimamente relacionado con la composición modal y las características petrológicas generales. Son completamente diferentes las concentraciones entre contenido en torio y los índices comunes de la petrogenética general, tales como proporción de minerales oscuros, porcentaje de anór-

tita en plagioclasa y relación de feldespatos potásico a plagioclasa. Contenido en torio aumenta regularmente hacia las rocas más ácidas, y la variación es más pronunciada en las rocas más alcalinas. El uranio contenido, muestra generalmente una relación en que la composición nodal y otra constitución petrogenética y el aumento del contenido de uranio hacia las rocas más ácidas es irregular.

El mayor control petrogenético y el contenido en uranio y torio, puede ser explicado a costa de la oxidación y repetidas pérdidas de uranio de los magmas durante los últimos estadios de su diferenciación. Se supone que los magmas fueron derivados originalmente de una procedencia relativamente homogénea, removilización, como sea, de diferentes tipos de rocas sedimentarias u otras procedentes de magmas graníticos de amplia diferencia inicial en contenido de torio y uranio. La posibilidad de que el torio es añadido hidrotermalmente a los granitos, es soportada fácilmente por la poca frecuencia de elevados contenidos de torio en algunas rocas rojizas, porfiritas, o allaníticas, pero el control petrológico general de la cantidad de torio conduce a una adición secundaria.—L. F.

ICHIKUNI, M.: *Teneurs en cuivre et en zinc des eaux thermales au Japon*, «Geochimica et Cosmochimica Acta», XVII, 305 a 314, noviembre 1959.

Se destaca la lognormalidad de la distribución del cobre y del cinc en las aguas termales. El pH desempeña un papel importante de la distribución del cinc, las aguas con el pH superior a cinco, contiene generalmente menos cinc que la de pH inferior a cinco. Al contrario, la ley en cobre no tiene relación con el pH. Parece, según el autor, que el potencial de óxido-reducción está relacionado con el contenido en cobre.—L. de A.

MINERALOGIA

BRANCHE, G. y MORIGNAT, B.: *Présence de coffinite dans les gisements uranifères français*, «Rapport CEA», núm. 1.238, 1959.

Los autores dan las características de la cofinita, silicato de uranio, en el cual una parte de $(SiO_4)^{-4}$ es reemplazado por $(OH)_4^{-4}$. Indican los principales yacimientos. Es la primera vez que este mineral uranífico es señalado en Francia.—L. de A.

MINERIA

MABILE, J.: *Développement de l'industrie minière de l'uranium en France et dans L'Union Française*. «Rapport CEA», núm. 1.038, 1958.

El plan del Estado francés afirmado desde 1946 para desarrollar un programa notable de energía atómica destacó la importancia del aprovechamiento de las materias primas. Los esfuerzos encaminados a este fin, han tenido un indudable éxito, como se aprecia por las publicaciones francesas, y se pueden seguir con los proyectos mineros actuales. Hacia 1961 se espera ocupe Francia un puesto importante dentro de los principales productores mundiales, y podrá aprovisionarse de uranio en las medidas de sus necesidades, y de torio de sus propias minas sin necesitar recurrir a la importación.

La mayor parte de este uranio proviene del territorio metropolitano de Francia, lo que incontestablemente es de una gran suerte para dicho país. En otras comunicaciones, describen los tipos de yacimientos y el detalle de los métodos empleados. Da el autor una breve historia de los descubrimientos, hace una síntesis de la situación actual e indica en el porvenir el proyecto de desarrollo minero de las reservas totalmente desconocidas hace solamente algunos años.—L. de A.

GINOCHIO, A.: *Leremblayage avec des sables fins*. «Rapport CEA, número 32, 1958.

El relleno hidráulico con residuos de tratamiento muy finamente triturados, es un procedimiento utilizado en numerosas minas del Canadá y de Australia.

Es cómodo y de buen rendimiento, y tiene una tendencia general a reemplazar todos los otros rellenos, lo que es particularmente significativo en el caso de explotaciones canadienses que disponen siempre, en la proximidad, de una materia ideal bajo forma de graveras.

Su marcha es tal, que permite que numerosos pilares considerados hasta ahora como abandonados, son arrancados después del relleno completo de las cámaras adyacentes y lo mismo en las explotaciones de minerales pobres como el uranio, por ejemplo.

En este sentido se puede decir que la puesta a punto de esta técnica de relleno ha de influir de una manera sensible sobre el método de explotación y parece que incluso en los terrenos de una ley importante como la de los yacimientos canadienses, las cámaras dejadas abiertas serán cada vez más raras, mientras que constituían la mayoría hace algunos años. Esto fué la duda en el caso particular, donde se tiende a evitar los desperdicios y las pérdidas del mineral. Este método debe suministrar una ayuda preciosa y deberá ser mucho más corrientemente empleado.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

En este Instituto, fundado en el año 1849, existen laboratorios donde se estudian, analizan y ensayan, rocas, menas, minerales, aguas, combustibles, tierras coloidales y productos metalúrgicos e industriales. También se efectúan determinaciones espectroquímicas, químicas y de constantes físicas, estructuras cristalinas y mediciones de radiactividad, así como separación y concentración de menas por sus diversas técnicas, y ensayos industriales de las mismas.

Tanto para investigación como para fines docentes, se preparan colecciones de ejemplares y también se realizan clasificaciones de rocas, minerales y fósiles.

Los estudios y prospecciones geofísicas se efectúan por métodos eléctricos, sísmicos, magnéticos, gravimétricos y radiactivos.

Se ejecutan estudios e informes geológicos así como investigaciones de criaderos y asesoramientos para la explotación de los mismos.

Se redactan proyectos de alumbramientos de aguas subterráneas y se proporcionan toda clase de asesoramientos para la ejecución de los mismos.

Con destino a Entidades y particulares se ejecutan toda clase de trabajos relacionados con las especialidades del Instituto.

LISTA DE PRECIOS DE LAS PUBLICACIONES DEL
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
PARA PENINSULA IBERICA, HISPANO-AMERICA Y
FILIPINAS

	Ptas.
BOLETINES	
Boletines, cada tomo	75
Agotados números 1 a 10, 11, 12, 15, 21, 22, 23, 38, 39, 43, 44, 45, 48, 50 y 56	
NOTAS Y COMUNICACIONES	
Notas y Comunicaciones, cada número	40
Agotados números 1, 8, 9, 10, 13 y 19.	
MEMORIAS	
GEOFISICA.	
La Interpretación Geológica de las Mediciones Geofísicas. To- mos 1.º, 2.º, 3.º y 4.º, cada uno	240
Idem, id. Tomo 5.º	150
CRIADEROS DE HIERRO.	
Hierros de Murcia	40
Idem de Asturias	40
Idem de Galicia. Tomos 1.º y 2.º agotados... ..	40
Idem de Galicia. Tomo 3.º (dos fascículos cada uno)	40
Idem de Sevilla, Jaén y Córdoba	75
VARIOS.	
Estudio petrográfico de la Serranía de Ronda	50
Monografía de las melanopsis	50
Conchas bivalvas de agua dulce... ..	50
Memoria del Uranio (agotada)... ..	50
E! petróleo	50
Cuenca del Alto Tajo. Alcalá de Henares	50

	Ptas.
La cordillera del Rif (dos volúmenes de texto, uno de láminas) ...	150
Reservas mundiales de piritas (dos volúmenes)	75
Reservas mundiales de fosfatos (dos volúmenes)	75
Libro Jubilar (tomos I y II, cada uno)	75
Las nuevas ediciones del Mapa Geológico de la Península a esca- la 1:1.000.000 (1952 y 1955) publicadas por el Instituto Geológi- co y Minero de España	20
El Cretáceo en España... ..	75
Resumen de la Historia geológica de la Tierra	200

GUÍAS GEOLÓGICAS.

Estrecho de Gibraltar	40
Los platinos de la serranía de Ronda	40
Minas de plomo y cobre Linares-Huelva (francés o inglés)	40
Sierra Morena-Sierra Nevada... ..	40
Terciario continental de Burgos... ..	40
Minas de Almadén (francés)	40
Isla de Mallorca	40
Sierra de Guadarrama	40
Aranjuez	40
Asturias (sólo en francés)	40
Sierra Morena-Llanura Bética	40
Despeñaperros	40
Guía geológica del ferrocarril Madrid-Sevilla	40
Idem id. Madrid-Irún	40

BOLETINES DE SONDEOS.

Tomo 1.º (fasc. 1.º, 2.º y 3.º). Cada fascículo	30
Tomo 2.º (fasc. 1.º, 2.º y 3.º). Idem	30
Tomo 3.º (fasc. 1.º)	30

MAPA GEOLOGICO

CARTOGRAFIA.

Mapa Geológico de España, escala 1:1.500.000 (entelado)	75
Idem id., a 1:1.000.000 (cuatro hojas) 1955	250
Idem id., hojas sueltas, cada hoja	100
Idem id., escala 1:400.000 (cada hoja)	20
Idem id., nueva edición (cada hoja)	30

	Ptas.
Mapa provincial de Barcelona, Cádiz, Huesca y Lérida, escala 1:200.000, cada uno	75
Hojas del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000	25
Atlas estratigráfico de la cuenca hullera asturiana	75
Mapa de Guinea, escala 1:400.000	20
Mapa Manantiales Minero-Medicinales de España, a 1:1.500.000...	40
Idem Vulcanológico	40
Mapa Geológico del Sáhara, a 1:1.500.000	75

MEMORIAS.

Explicación Mapa Geológico, tomo 1.º, escala 1:1.000.00	75
Idem id., explicación tomo 2.º	75
Explicación del Mapa Geológico de España, por don Lucas Mallada, escala 1:400.000 (agotados los volúmenes 4.º, 5.º y 6.º) ...	50
Memoria provincial de Lérida y Huesca	75
Memorias del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000	25
Datos para el estudio de las hojas del Mapa Geológico 1:50.000. Gijón-Oviedo	30
Catálogo	15

Estas publicaciones se mandan a provincias, enviando por anticipado su importe por Giro Postal, más gastos de correo.

PARA LAS LIBRERÍAS.—Los pedidos hechos por librerías tendrán un 25 % de descuento, que deberán descontar al hacer el envío de su importe por Giro Postal.

PARA LOS DEMÁS PAÍSES.—Los precios son dobles de los marcados en esta lista. En todos los casos se aplicarán los cambios oficiales del Instituto Español de Moneda Extranjera.

SECCION DE VENTAS DE PUBLICACIONES

Relación de depósitos de este Instituto en provincias

SUMINISTROS ESCOLARES Y CIENTIFICOS

Plaza de la Universidad, 11.—Barcelona.

AGENCIA EDITORIAL SANTA CLARA

Paseo de Santa Clara, 2.—Oviedo.

LIBRERIA ZINCKE HERMANOS

Cantón Grande, 21.—La Coruña.

LIBRERIA «MARAGUAT»

Plaza del Caudillo, 22.—Valencia.

LIBRERIA GENERAL

Independencia, 8.—Zaragoza.



INDICE

	PÁGS.
Observaciones geológicas sobre Sier.a España (Murcia), por NICOLE e YVES PEYRE	3
Corte del Mesozoico y del Eoceno en el Palo de Málaga (Andalucía), por JACQUES AZÉMA, MICHEL DURAND DELGA e YVES PEYRE	23
Nuevo yacimiento paleontológico en las series béticas (Vélez Blanco-Lumbreras), por AGUSTÍN NAVARRO y EMILIO TRIGUEROS	37
La roca fraileasca de Almadén: Un episodio tobáceo en una formación basáltica del Siluriano superior, por A. ALMELA y T. FEBREL	41
Sobre nuevas localidades de matalanita en Extremadura, por VICENTE SOS BAYNAT	78
La enseñanza de la Mineralogía, por JORGE DOETSCH-SUNDHEIM	89
Relación de los principales sondeos para investigación de petróleos llevados a cabo desde 1939 hasta mayo de 1960, por J. M.º RÍOS	133
Diastrofismo y formación de montañas, por MARLAND P. BILLINGS	167
Fotogeología, por MANUEL MARÍA DE ALVARADO Y ARILLAGA ...	253
Consideraciones morfogenéticas sobre la cueva de Lazalday (Alava), por ADOLFO ERASO	275
Nuevas dimensiones de la investigación geológica, por ANTONIO DUE ROJO, S. I.	297
El límite superior del Villafranquiense, por M. CRUSAFONT PAIRÓ	323
Observación, interpretación y problemas geológicos de Galicia, por ISIDRO PARGA PONDAL	333
Descubrimiento del Cretáceo medio en la Bética de Málaga y la Penibética de Antequera (Andalucía), por MICHEL DURAND DELGA, JEAN MAGNE e YVES PEIRE	350
Servicio pluviométrico en 1959 de la Delegación de Las Palmas del Instituto Geológico y Minero de España	365
Légende générale de la Carte géologique du Monde	373
Bibliografía consultada para la revisión de la Hoja número 52 (Granada), del Mapa Geológico Nacional 1:400.000	379
Vocabulario estratigráfico (J. G. DE LL.)	383
Noticias	385

	PÁGS.
Notas bibliográficas:	
Criaderos	463 -
Energía	464 -
Espeléología	467 -
Fotogeología	469 -
Geología	469 -
Geonucleónica	470 -
Geoquímica	472 -
Mineralogía	473 -
Minería	474 -
Prospección	475 -
Separación de minerales	476 -
Instituto Geológico y Minero de España	477 -