

NOTAS Y COMUNICACIONES

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Sumario



* La edad de las uranitas de la Sierra Albarrana, por JUAN MANUEL LÓPEZ DE AZCONA.—Pág. 3.

* Determinación espectroquímica de los elementos en pequeño porcentaje en moscovitas españolas y portuguesas, por MARÍA IVONE DE BARROS.—Pág. 15.

* Notas sobre la Sierra de Jurés (Orense), por GREGORIO GUTIÉRREZ GONZÁLEZ.—Pág. 25.

* Notas paleontológico-estratigráficas, por J. DE LA REVILLA y J. M.º RÍOS.—Pág. 37.

* Descubrimientos de huesos de Dinosaurios en el Cretáceo terminal de Cubilla (provincia de Soria), por ALBERT F. LAPPARENT, INDALECIO QUINTERO y EMILIO TRIGUEROS.—Pág. 59.

* Notas mineralográficas (II), por ANTONIO DUE ROJO, S. I.—Pág. 65.

* Cronología de las orogénesis y naturaleza de la escala de los tiempos geológicos, por EDMUND M. SPIEKER.—Pág. 87.

* Investigaciones bioestratigráficas en el Jurásico, al sur de la Sierra de la Demanda (N. de España), por GERD WESTERMANN.—Pág. 179.

* El concepto de oroclinal en Geotectónica, por S. WARREN CAREY.—Pág. 215.

Memoria acerca de la organización y resultados logrados en el Segundo Campamento para prácticas de Geología.—«Panticosa-1956», por JOSÉ MARÍA RÍOS.—273.

Noticias.—209.

Notas informativas.—339.

Notas bibliográficas: Criaderos, pág. 345.—Estratigrafía, pág. 345.—Geonucleónica, pág. 345.—Química mineral, pág. 348.

Instituto Geológico y Minero de España, 349.

1521

NOTAS Y COMUNICACIONES

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO

DE

E S P A Ñ A



NÚMERO 45

PRIMER TRIMESTRE

MADRID

C. BERMEJO, IMPRESOR
GARCÍA MORATO, 122. TELEF. 33-06-19

1957

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.

La edad de las uraninitas de la Sierra Albarrana

POR

JUAN MANUEL LOPEZ DE AZCONA

JUAN MANUEL LOPEZ DE AZCONA

549.514.83 (234.15 AL)

LA EDAD DE LAS URANINITAS DE LA SIERRA ALBARRANA

Cuando colaborábamos con el ilustre Ingeniero de Minas A. Carbonell, hace más de quince años, en el descubrimiento de las importantes formaciones de uranio de la Sierra de Córdoba, una de nuestras principales preocupaciones fué el situar geológicamente el momento de la mineralización por los núclidos de uranio pertenecientes a estos criaderos. Como consecuencia de los estudios correspondientes publicó Carbonell (1941) un trabajo en el que llegaba a la conclusión de que «los criaderos de la Sierra Albarrana pertenecen al carbonífero medio y, por lo tanto, su ciclo magmático fué el herciniano».

Al mismo tiempo dirigíamos una tesis doctoral en la que pretendíamos fijar, en años, la distancia máxima a nuestros días de la correspondiente mineralización. En magníficas muestras seleccionadas entre las recogidas personalmente en el campo, se efectuaron las valoraciones del uranio y del plomo, la primera con técnicas químicas y la segunda con espectroquímicas (1942), que dieron los valores 45,94 por 100 y 2,49 por 100, respectivamente. Al suponer todo este plomo radiogénico, y con los valores de los períodos de desintegración admitidos en aquel entonces,

llegamos a un límite máximo para la edad absoluta de 410 m. de a.

En estudios posteriores efectuados por A. Carbonell (1946), profundo conocedor de la geología de la provincia de Córdoba, razona de la siguiente manera las afirmaciones efectuadas cinco años antes:

«Las calizas cambrianas gotlandesas (siluriano) que corren a unos kilómetros al Sur de la zona de la Albarrana quedan levantadas pero no metamorfozadas, en demostración de que hasta ellas no llegó la manifestación del fenómeno emisivo; pero en su alineación hacia la Sierra de las Ermitas de Córdoba, después de sufrir algunos trastornos estratigráficos, aparecen en las inmediaciones de la capital con suave buzamiento en general al Norte, y sólo experimentaron tránsito, traducidos en espatizaciones, por la proximidad de pequeños lacolitos separados de los conjuntos magmáticos que desde las sierras de la Caraveruela en Fuente Ovejuna, de las Cruces en Villaviciosa y del Cerro de Pedro López, al Sur del Guadiato, en término de Córdoba, marcan una alineación, entre la cual y las citadas calizas gotlandesas, quedan terrenos plegados y, en general, fuertemente metamorfozados, tales como los de la Sierra Albarrana. Luego el conjunto de los fenómenos emisivos fué posterior al cambriano.

«Al Norte del conjunto emisivo diseñado se extiende la cuenca carbonífera de Bélmez, que ha sido intensamente plegada, que buza al SO. en aquella zona de Bélmez citada y que, tras de una serie de formaciones varias, viene más a septentrión sobre la eminencia definida por el gran batolito del Valle de los Pedroches, hoy intensamente erosionado y en estado de penillanura.

«Entre la cuerda de batolitos y lacolitos de la Sierra

de los Santos, que es el conjunto de la Calaveruela de la Coronada y demás indicaciones hasta el Cerro de Pedro López y el batolito del Valle de los Pedroches, queda *el vesfaliense de la cuenca de Peñarroya intensamente plegado y, por lo tanto, no hay duda de que estos fenómenos tectónicos tuvieron lugar pasado el vesfaliense.*

«Por otro lado, *el batolito del Valle de los Pedroches ha digerido a Norte y a Sur en determinados lugares de El Viso y de Montoro las pizarras marginales del culm; y según A. Carbonell, la clasificación de estas pizarras no admite duda, tanto por los hallazgos fosilíferos que realizó al Norte de la provincia de Córdoba, como por los llevados a cabo por el Dr. Henke en La Carolina (Jaén) y asimismo por el estudio petrográfico al sur de dicho batolito hasta las aguas mineromedicinales del río Arenoso, en Montoro,*

“A su vez, el dispositivo del triásico, horizontal o con suave pendiente al Sur en Montoro, Córdoba, y a lo largo de toda la falla del Guadalquivir, no afectado por las emisiones metalogénicas que impregnaron o rompieron los estratos paleozoicos de Sierra Morena, nos permiten hacer observaciones para concretar los puntos que analizamos.

“Es evidente que todas las emisiones metalogénicas de esa zona de Sierra Morena tuvieron lugar con anterioridad al permiano; la clasificación de los estratos de la ribera del Viar, en Sevilla, y de sus similares en la Dehesa del Aguila, de Córdoba, al Sur de las alineaciones de las calizas gotlandesas antes reseñadas, lo confirman.

“Asimismo, al quedar digeridos los esquistos del culm por el batolito del Valle de los Pedroches, tenemos otro límite superior, o sea, más antiguo de la fecha en que los grandes trastornos orogénicos tuvieron allá lugar. Y aun-

que se discutiera si esas pizarras del culm pudieran ser devonianas, más allá no pudieran llevarse, dados los fósiles reconocidos.

"Recuérdese la plegadura del vesfaliense en Peñarroya, y se llega a la conclusión de que los fenómenos orogénicos debieron tener lugar en el tránsito vesfaliense estefaniense.

"Por lo que afecta a esa cuenca carbonífera debe tenerse en consideración el hecho de que en distintos lugares de la cuenca de Peñarroya donde existen capas de carbón, como son la mina de Santa Bárbara y la Flor Cubana, del término de Fuenteovejuna; la mina Antolín, de Peñarroya, y la mina Mirabuenos, de Villaviciosa, se han encontrado filones o minerales de plomo que, desde luego, son posteriores al vesfaliense, ya que en la citada mina de Santa Bárbara se halló, en una pequeña capa de carbón, en la bajada romana a las labores, una sigillaria transformada en galena.

"Uno de los elementos de juicio más interesantes para llegar a clasificar la edad de los terrenos de Sierra Albarrana, lo es, la cuenca carbonífera de Valdeinfiernos, que queda casi en contacto de los terrenos que nos interesan y que fué clasificada como estefaniense, estando sus estratos sumamente levantados y con tendencia a definir un fondo de barco, demostrándose así que los hechos tectónicos que dieron lugar al dispositivo presente fueron ocasionados en el estefaniense o al finalizar el vesfaliense. Se llega con todo esto a las conclusiones de que los criaderos de Sierra Albarrana pertenecen al carbonífero medio y, por tanto, que el ciclo magmático es herciniano."

Las técnicas de espectroscopia de masas se fueron perfeccionando y se vió la posibilidad de efectuar determinaciones de edades más precisas, si se conocía la composición

isotópica del plomo de los minerales de uranio y del plomo contaminante de los mismos.

Cuando desempeñábamos la Jefatura del Laboratorio de Radiactividad del Instituto Nacional de Geofísica (1949) aislamos, con la colaboración del personal de la Sección de Radioquímica del mismo, una cantidad considerable de plomo que remitimos a Toronto por mediación del Dr. Marble, del cual el Profesor Collins hizo la correspondiente valoración, la que publicó recientemente (1954) después de varios años de su remisión, con el número 97 de las estudiadas por dicho investigador. La composición por ciento es:

| Pb ²⁰⁴ | Pb ²⁰⁶ | Pb ²⁰⁷ | Pb ²⁰⁸ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,13 ± 0,02 | 87,00 | 6,51 | 5,37 |

Esta muestra es buena para la datación del mineral de procedencia, por ser su contenido en Pb²⁰⁴ menor de 0,20 por 100. Con estos datos, y suponiendo que la contaminación de la uraninita lo fué con plomo actual de composición centesimal,

| Pb ²⁰⁴ | Pb ²⁰⁶ | Pb ²⁰⁷ | Pb ²⁰⁸ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1,5 | 23,6 | 22,6 | 52,3 |

deduce Collins, para la composición radiogénica,

| Pb ²⁰⁶ | Pb ²⁰⁷ |
|-------------------|-------------------|
| 85,00 | 4,60 |

y la edad por la relación Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁶, manifiesta es 360 ± ± 150 m. d. a. ±

A partir de estos valores hicimos un trabajo (no publicado) que se presentó en la sesión de las Bodas de Oro de la R. S. E. de Física y Química (Resumen núm. 17) (1953), en el que se hacía un amplio estudio del problema, y entre otras aportaciones figuraba nuestro criterio de que la corrección de la contaminación, en lugar de hacerse con plomo común, debía efectuarse a base de la composición isotópica de un plomo contemporáneo a la misma, al que correspondía, según las curvas que tenemos publicadas (1951):

| Pb ²⁰⁴ | Pb ²⁰⁶ | Pb ²⁰⁷ | Pb ²⁰⁸ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 18,7 | 15,7 | 38,6 |

Por lo tanto se puede resumir:

| Clases de plomos | Pb ²⁰⁴ | Pb ²⁰⁶ | Pb ²⁰⁷ | Pb ²⁰⁸ |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Del mineral de uranio..... | 0,13 | 87,99 | 6,51 | 5,37 |
| Contaminante..... | 0,13 | 2,44 | 2,04 | 5,07 |
| Radiogénico del mineral..... | 0 | 85,55 | 4,47 | 0,30 |

Por este cuadro se ve que la contaminación con plomo representa el 9,68 por 100 del plomo total actual, y como las muestras carecían de cantidades apreciables de torio, se debe considerar también como contaminación, o como error de medida el 0,30 por 100 de Pb²⁰⁸. Admitiremos como contaminación el 9,98 del plomo total, por ello los valores del uranio originario y del plomo radiogénico son: U = 45,5 por 100, Pb = 2,25 por 100.

Las edades deducidas con estos datos por las diversas relaciones son:

| Relación | Edad en m. de a. |
|--|------------------|
| Pb ²⁰⁶ /U..... | 340 |
| Pb ²⁰⁶ /U..... | 360 |
| Pb ²⁰⁷ /AcU..... | 318 |
| Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ | 305 |

En este cuadro se ve que las edades por las diversas relaciones tienen el orden siguiente:

Edad Pb²⁰⁶/U > Edad Pb²⁰⁷/AcU > Edad Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁶ > Edad geológica, que indica la existencia de una pérdida de uranio de poca importancia, por ser los tres primeros valores bastante próximos y casi dentro del límite de los errores experimentales, la que debió tener lugar hace unos 150 m. de a. Después de efectuada la correspondiente corrección se deduce una edad para el mineral de uranio inferior a los 300 m. de a.

Otro dato que se hizo público por Collins, pero en publicación anónima (1954), fué la composición isotópica de una muestra de galena que recogimos personalmente (1942) de formación prácticamente contemporánea con las uraninitas y situada inmediata a ellas. Los análisis isotópicos de esta muestra, designada por el número 330 en el Laboratorio donde las efectuaron, dió el siguiente resultado:

| Pb ²⁰⁴ | Pb ²⁰⁶ | Pb ²⁰⁷ | Pb ²⁰⁸ |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 18,46 | 16,10 | 39,10 |

La edad que corresponde a ese plomo, según nuestras gráficas, es muy adecuada como perteneciente a un plomo de posible contaminación de la uraninita; por ello la co-

corrección debe efectuarse con este plomo según la damos a continuación :

| Clases de plomo | Pb ²⁰¹ | Pb ²⁰⁶ | Pb ²⁰⁷ | Pb ²⁰⁸ |
|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Del mineral de uranio..... | 0,13 | 87,99 | 0,54 | 5,37 |
| Contaminante..... | 0,13 | 2,40 | 2,00 | 5,08 |
| Radiogénico del mineral..... | 0 | 85,59 | 4,42 | 0,20 |

Al considerar todo el Pb²⁰⁸ como contaminación, resulta que ésta representa el 9,9 por 100 del plomo total.

Las edades deducidas con esta nueva corrección por las diversas relaciones son :

| Relación | Edad en m. d. a. |
|--|---------------------|
| Pb U..... | 340 |
| Pb ²⁰⁶ /Pb..... | 350 |
| Pb ²⁰⁷ /AcI..... | 325 |
| Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁶ | 280 |

Los valores absolutos de las edades son menores que con la primera corrección por contaminación, pero con el mismo orden de sucesión, lo que indica que la pérdida aludida de uranio fué pequeña, y que la edad es ligeramente inferior a los 280 m. de a.

Deseosos de ultimar el estudio de este problema, procedimos (1952) a datar una serie de moscovitas que conservábamos de nuestros recorridos por Sierra Albarrana ; el procedimiento seguido fué el del Rb⁸⁷ → Sr⁸⁷, valorando los dos elementos espectroquímicamente ; para ello eliminamos el silicio por volatilización con ácido fluorhídrico y con el residuo se preparó una mezcla deflagrante con clo-

ruro amónico a partes iguales. La excitación se hacía por arco de corriente continua con veinte segundos de exposición y por densometrado de las líneas RbI 4201,85 Å y SrII 4077,71 Å se dedujo una edad de 280 m. de a.

Los valores de las edades deducidas por estas relaciones siempre se han considerado ligeramente superiores a los reales, y concretamente dice Kohman (1954) cuando los compara con los de técnicas de desintegración α que se «destacan considerablemente superiores». Algunos autores atribuyen esta anomalía a que se le asigna al rubidio 87 un periodo de semidesintegración demasiado grande.

Consideramos que este valor de la edad viene incrementado significativamente en micas paleozoicas, por ser la valoración del estroncio superior a la real, debido a ligerísimas impurificaciones con estroncio de los reactivos empleados, ya que hasta en las aguas más puras, después de destiladas, y en muchos reactivos, hemos podido comprobar, por nuestros métodos espectroquímicos de concentración piroléctrica, la existencia del mencionado elemento.

CONCLUSIONES

1.^a La composición isotópica de las galenas que se encuentran en la zona de las pegmatitas de la Sierra Albarrana pertenecen a plomos de individualización posvesfaliense.

2.^a La edad absoluta de las micas de la zona pegmatítica de la Sierra Albarrana, deducidas por la relación Rb/Sr es, como máximo, de 280 m. de a., y su valor cercano a esta cifra.

3.^a La edad absoluta de las uraninitas de Sierra Al-

barrana, deducida por la composición isotópica de sus plomos radiogénicos, es ligeramente inferior a 280 m. de a.

4.º Estos resultados por técnicas geonucleares son concordantes con los límites fijados por A. Carbonell, basados en consideraciones tectónicas.

AGRADECIMIENTO

Damos las gracias al profesor C. B. Collins por la atención que tuvo de efectuar las valoraciones isotópicas del plomo común y del plomo radiogénico, que hemos utilizado para preparar esta nota.

BIBLIOGRAFÍA

- ANÓNIMO: *Table of isotopic analyses of common leads*. Univ. de Toronto, Geophysics laboratory (1954).
- COLLINS (C. B.), FARGUHAR (R. M.) y RUSSELL (R. D.): *Isotopic constitution of radiogenic leads and the measurement of geological time*. «Bull. of the Geological Soc. of Amer.», LXX, 1-22 (1954).
- CARBONELL, TRILLO FIGUEROA (A.): *Age of the radioactive minerals of Hornachuelos (Fuenteovejuna)*. «Rep. of the Com. on the Measurement of Geologic Time», pp. 115-116 (1941).
- KOHLMAN (T. P.) y SAITO (N.): *Radioactivity in geology and cosmology*. «Carnegie Inst. of Technology», 155 pp. (1954).
- LÓPEZ DE AZCONA (J. M.), CASARES LÓPEZ (R.) y LEM LUNA (J.): *Age in years of three Spanish minerals*. «Rep. of the Com. on the Measurement of Geological Time», pp. 49-50 (1942).
- LÓPEZ DE AZCONA (J. M.): *Radiactividad y Geofísica*. Madrid, Tip. Coullaut, 280 págs. (1951).
- — *Edad absoluta por métodos radiactivos de la formación uranífera de Sierra Albarrana*. Bodas de Oro de la Real Soc. de Fis. y Quím., Madrid, Resumen núm. 17 (1952).
- — *Valoración espectrográfica de rubidio y estroncio en las micas*. «Microchimica Acta», pp. 334-338 (1956).

Octubre 1956

Determinación espectroquímica de los elementos en pequeño porcentaje en moscovitas españolas y portuguesas

POR

MARIA IVONE DE BARROS

Bolseira dos Centros de Estudos da Energia Nuclear Portuguesa

MARIA IVONE DE BARROS 549.623.52:544.1

Bolseira dos Centros de Estudos da Energia Nuclear Portuguesa.

DETERMINACION ESPECTROQUIMICA DE LOS ELEMENTOS EN PEQUEÑO PORCENTAJE EN MOSCOVITAS ESPAÑOLAS Y PORTUGUESAS

RESUMEN

Se valoran espectralmente con excitación por arco y por el método de emisión los elementos contenidos en pequeñas cantidades en 40 muestras de moscovitas procedentes de los suelos españoles y portugués. Para la determinación semicuantitativa se prepararon escalas artificiales que sirvieron de base de referencia para apreciar las concentraciones de las muestras problemas comparando las densidades de emparejamiento, persistencia de líneas y pares de líneas homologadas.

OBTENCIÓN DEL MATERIAL

Unas moscovitas fueron recogidas del suelo español y otras de suelo portugués. Unas corresponden a Galicia y Portugal y pertenecen a la colección del ingeniero Dr. López de Azcona, que las tiene recopiladas para el estudio de la zona paleozoica galaico-portuguesa del Norte del río Duero, y otras a la zona portuguesa de dicha región, y proceden del Museo de Mineralogía de la Facultad de Ciencias de Lisboa y de los Servicios Geológicos, también de Lisboa.

PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Una vez catalogadas las muestras, se sometieron a una limpieza exterior, con objeto de eliminar de su superficie el polvo que pudieran tener. Después se cortaron en trozos pequeños para facilitar su pulverización en mortero de ágata hasta obtener polvo muy fino, que pasó por un tamiz de 200 mallas/cm. Las muestras fueron entonces tratadas por SO_2H_2 a 4 por 100 en caliente, lavadas con agua destilada hasta reacción negativa al tornasol y secar en estufa a 100-105°C. hasta lograr un peso constante.

TÉCNICA ANALÍTICA

Con objeto de proceder a una investigación simultánea de todos los elementos a partir de pequeña cantidad de moscovita, recurrimos al empleo de las técnicas de análisis espectroquímico por emisión (1) (2) y (3).

Empleamos un espectrógrafo Zeiss Q-24 con óptica de cuarzo zona de 2.000 Å a 5.200 Å. Delante de la rendija, a 63 cm. de ella, colocamos una lente condensadora esférica de cuarzo de 80 cm. de distancia focal y 1 cm. de diámetro útil que daba en el plano de la rendija la imagen de los electrodos que se colocaban a 10 cm. de la lente, sobre su soporte. La rendija que empleamos tenía una anchura de 0,007 mm. La altura la limitamos a 2 mm. para comodidad de la interpretación.

Como método de excitación utilizamos el arco de corriente continua, con una tensión en la línea de 120 voltios y una intensidad de 5 amperes. Los electrodos empleados

eran carbones cilíndricos de 5,0 mm. de diámetro, muy puros. En el electrodo inferior o positivo preparamos un cráter de 4,5 mm. de diámetro por 3,5 mm. de profundidad, con las debidas precauciones para evitar la impurificación de los mismos, y en él colocamos, con todo cuidado, 0,020 g. de muestra. La separación entre los electrodos era de 3 mm. Para evitar errores debidos a la destilación fraccionada, la toma de espectrogramas duraba el tiempo necesario para la total volatilización de la sustancia, lo cual se notaba en la desaparición de la cavidad del cráter, disminución brusca de amperaje, así como el sonido del arco diferente con los electrodos solos que cargados de sustancia.

Como patrón de longitud de onda empleamos el espectro del hierro, que intercalamos entre cada 4 espectrogramas problemas. El tiempo de exposición fué de veinte segundos. Como material fotográfico utilizamos la película Ilford Ordinary Plate núm. 30. Una vez terminada la obtención de todos los espectrogramas, la placa la reveló y fijó. La fórmula de revelador empleado fué la siguiente:

| | |
|-----------------------------|-------|
| Metol..... | 2 g |
| Hidroquinona..... | 5 g |
| Sulfito sódico anhidro..... | 100 g |
| Bórax..... | 2 g |
| Agua destilada..... | 1 l |

y la composición del baño fijador:

| | |
|--|---------------------|
| Tiosulfato sódico cristalizado..... | 500 g |
| Lejía de bisulfito, 40° Bea..... | 100 cm ³ |
| Agua destilada hasta completar el litro. | |

El tiempo de revelado fué de cuatro minutos, y la temperatura del revelador, de 18°C. El fijado duró diez mi-

nutos y después se lavó la placa durante veinte minutos con abundante agua para eliminación total de todos los productos procedentes del revelado y fijado y se secó en un secador. En los espectrogramas obtenidos se buscaron las líneas de todos los elementos utilizando un proyector de espectros Zeiss, el atlas de líneas más persistentes con excitación por arco (4) y las tablas de longitudes de onda correspondientes a las líneas espectrales (5) y (6).

Hemos encontrado, con nuestras técnicas, los elementos Na, Si, Ag, Mg, Mn, Sn, V, Cu, Ca, Ti, Pb, Ni, Fe y Cr, además de los fundamentales Si, Al y K.

El análisis cuantitativo de estos elementos lo verificamos por el método aproximado (7), por no interesar más precisión en este tipo de valoraciones, siguiendo la técnica usual de preparación de escalas de muestras patrones sintéticas. De éstas se hicieron dos grupos: uno con Na, Si, Ag, Mg, Ca, Fe, Ti, y otro con los elementos restantes, o sean, Mn, Sn, V, Cu, Pb, Ni y Cr. Los términos de cada escala fueron: 1 por 100, 0,33 por 100, 0,10 por 100, 0,033 por 100, 0,010 por 100, 0,0033 por 100, 0,0010 por 100, 0,00033 por 100 y 0,00010 por 100. Como diluyente hemos empleado sílice muy pura previamente tratada como las moscovitas.

RESULTADOS OBTENIDOS

Recogemos en el cuadro primero todos los resultados obtenidos. En la primera columna detallamos la referencia de donde se han extraído las distintas moscovitas analizadas y en todas las demás columnas los datos conseguidos en la interpretación de los espectrogramas. En el cuadro de procedencia de las micas, las iniciales indican quiénes fueron los colectores, C. (Cardoso), L. A. (López de Azcona)

y P. (Parga) y los números que siguen a las iniciales corresponden al año de toma de la muestra.

Como se ve por el cuadro adjunto, la composición de estas micas es en general bastante parecido, salvo la carencia de litio en las 2, 22-X-1, 22-X-2, 43-3, 95-B-4-1, 261-4-C y 261-4-D, de titanio en las 4, C y D y de Pb en las 2, 7 y B.

Entre los elementos encontrados en algunas de las muestras están la plata en las 22-X-2, 45-3, 261-4-C, A y G, el níquel en las 6 y 261-4-C y el cromo en diez de las cuarenta micas analizadas.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo se ha realizado bajo la dirección del Ingeniero de Minas Dr. López de Azcona, a quien agradezco sinceramente su ayuda y valiosos consejos. También quiero expresar mi agradecimiento a los Centros de Estudios de Energía Nuclear Portuguesa, por la concesión de la beca, mediante la cual ha sido posible la realización del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) AUBREY (L. H.): *Qualitative Spectrochemical of Minerals and Rocks*. «Trans. of Proc. Geol. S. Africa», **49**, 113-54 (1946).
- (2) POHL (F. A.): *Methods for the Spectrochemical Detection of Traces*. «Z. anal. Chem.», **141**, 81-6 (1954).
- (3) MITCHELL (R. L.): *Applications of Spectrographic Analysis to Soil Investigations*. «Analyst», **71**, 361-8 (1946).
- (4) GÖSSLER (F.): *Tafeln zu dem Bogenspektrum des Eisens*, 1942.
- (5) KAYSER y RITSCHL: *Tabelle der Hauptlinien der Linienspektren aller Elemente*, 1939.
- (6) HARRISON (GEORGE R.): *Wavelength Tables*, 1939.
- (7) LÓPEZ DE AZCONA (J. M.): *Análisis espectroquímico cuantitativo por emisión*. Madrid, 1944.

PROCEDENCIA DE MICAS EN ESTUDIO

Cuando la referencia de procedencia conste de varios números, el primero corresponde al núm. de la hoja del Mapa Nacional 1/50.000 del terreno perteneciente a la muestra.

| | |
|---|--------------|
| 2-G 38-11. La Pedrada..... | C-50 |
| 4. Hialamita. Escarabote (Coruña)..... | C-32 |
| 6. Mica de cuarzo. Ilroa, camino a Casais. Vimianzo..... | C-32 |
| 7. Dumbria (Coruña) Arranque de la carretera de Coruña a Corcubión..... | C-42 |
| 21-1. Cerca del Puerto de San Pedro (Coruña) en el granito | L. A.-52 |
| 21-2. A 500 m del Puerto de San Pedro y 200 m pasado el lavadero..... | L. A.-52 |
| 21-3. De una pegmatita de San Amaro (Coruña)..... | L. A.-52 |
| 21-4. En un dique cerca de la Torre de Hércules (Coruña) | L. A.-52 |
| 22-X-1. Micacitas de conglomerado estefaniense de Porto.... | P.-53 |
| 22-X-2. Micacitas de conglomerado estefaniense de Porto.... | P.-53 |
| 43-3. Pegmatita del contacto granito esquistos de Cruz del Furco..... | L. A.-52 |
| 43-C-3-16. Del Muelle de Lage..... | P. y 4 A. 52 |
| 43-C-4-21. Coens..... | P. y 4 A. 52 |
| 44-1. 600 m al W de Netoma, pegmatita en granito..... | L. A.-52 |
| 45-3. Playa de Rañal, a 50 m tierra adentro..... | L. A.-52 |
| 45-4. A 300 de la batería a la altura de Xalón en las micacitas..... | L. A.-52 |
| 68-1. Pegmatita en granito de dos micacitas. Entre Carais e Ilroa..... | L. A.-52 |
| 95-B-4-1. Al S. de Labacolla..... | P. |
| 261-1. En Bouzadas. Pegmatita que atraviesa granito, gneis y esquistos..... | L. A.-52 |
| 261-3. El Tetón..... | L. A.-52 |
| 261-4. En el contacto esquistoso de San Mamed a Santiago de Malvas a 300 m de la ermita. La pegmatita pasa granito y esquistos..... | L. A.-52 |
| 261-4-B. Análoga a la anterior en Roupeiro barrio de Recarey..... | L. A.-52 |
| 261-4-C. Análoga a la anterior cerca del arroyo de San Antonio de Malvas..... | L. A.-52 |
| 261-4-D. Análoga a las anteriores al límite SE de Recarey | L. A.-52 |
| 261-5. En la mina de estaño de Villachan del Monte..... | L. A.-52 |
| 261-8. Análoga a la anterior en Os Fortes..... | L. A.-52 |

| | |
|--|--------------|
| 261-9. Cuarzo casi pegmatítico en esquistos arroyo Louro Km. 264,5..... | L. A.-52 |
| 261-10. Dique de cuarzo en esquistos camino de Costal en Mellón..... | L. A.-52 |
| 261-11. Hojas grandes de mica en Mourenten..... | L. A.-52 |
| 298-E-1-2. El S. de Oya en San Xian..... | A. 36. A.-53 |
| 299-A-4-3. Al O. de la ermita Ntra. Sra. de las Nieves.... | P. L. A.-53 |
| A. 700 m. ao sul da Praia da Granja (Arredores do Porto) | |
| B. Faro. Valença | |
| C. Quinta da Azenha. Gondomar | |
| D. Rebordosa de Peredes (Porto) | |
| E. S. Gens | |
| F. S. Mamede de Infesta e Aguas Santas (Porto e arredores Concelho da Maia). | |
| G. Cabreiras a Braga | |
| H. 1.800 m N 60° Oeste de Rio Tinto (Porto) | |
| I. Rio Tinto (Porto) | |

Diciembre 1956

GREGORIO GUTIERREZ SANCHEZ

NOTAS SOBRE LA SIERRA DE JURES (ORENSE)

SITUACIÓN DE LA SIERRA

Por haber intervenido en el amojonamiento de la frontera hispano-portuguesa, en Galicia, he podido recorrer una zona que considero de las más interesantes y quizá menos conocida de la región galaico-portuguesa.

Esta zona está situada en la provincia de Orense, y es la comprendida entre los siguientes límites: Al Norte, la delimitan el río Salas, desde la confluencia con el regato de la Portela de Pitoens hasta su confluencia con el río Limia, y por éste hasta la confluencia del Limia con el río Caldo; al Este, por el regato de la Portela de Pitoens, en España y en Portugal, por el ribeiro de Valongo, ribeiro de Beredo y río Cávado; al Sur, por el río Cávado, y al Oeste, por el río Caldo, en España, pasando por la Portela d'Home a Portugal, siguiendo por el río Maceira, arroyo de la Portela de Leonte y el río de Gerez hasta su desembocadura en el río Cávado. Esta zona figura en la cartografía española, Hojas 300-301 y 336 del Mapa nacional, en escala 1: 50.000, y en la cartografía portuguesa, en las Hojas 18 y 31 del Plano director, en escala 1: 25.000. Puede admitirse, como límite Oeste, la carretera de Lovios a la Portela

d'Home, siguiendo por la carretera forestal portuguesa de la Portela d'Home a la Portela de Leonte y la carretera que desde esta última va a las Caldas de Gerez, siendo estas carreteras, con la pista que lleva a la Mina de los Carris, las únicas que penetran en la Sierra.

Los portugueses designan esta zona montañosa con el nombre de Sierra de Gerez; en España recibe el nombre de Sierra de Jurés; extraña esta diferencia de nombres. En tiempos de la ocupación romana recibió ya el nombre de Juresus, según entre otros historiadores, el historiador Murguía, y de ahí debió quedar en España el nombre de Jurés, atestiguado también por el nombre del santuario dedicado a la Santísima Virgen en uno de los picos de las estribaciones de la Sierra, situado al Este y próximo al pueblo de Río Caldo, con el nombre de Capilla de Nuestra Señora de Jurés.

La zona española pertenece, en su mayor parte, al Ayuntamiento de Lovios, y el resto, al Ayuntamiento de Muíños.

RELIEVE DE LA SIERRA

Vista la Sierra de Jurés desde el Norte, es decir, marchando de Norte a Sur, y desde cualquier punto de la carretera de Orense a Portugal, en el tramo comprendido entre Bande y el Salto de las Conchas, es de una belleza impresionante, y comparada con la Sierra de Santa Eufemia, situada al Oeste, y la Sierra del Pisco, al Este, se observan diferencias fundamentales.

La Sierra del Pisco es de pendientes suaves, tiene sus cimas redondeadas y cubiertas de vegetación; la Sierra de Santa Eufemia también tiene sus cimas desgastadas por la erosión, y aunque presenta pendientes más fuertes que

la Sierra del Pisco, se diferencian de la Sierra de Jurés; ésta y los espolones que de ella parten, alzan sus picos, algunos en forma de agujas, como los Picos de la Fonfría, y que aun para un profano en geología le dicen que son formaciones más jóvenes y se mantienen por ello más enhiestos, ya que los agentes erosivos no han reducido su silueta, a pesar de que los materiales de que está constituida la Sierra son sensibles a ellos y la falta de vegetación favorece su acción; también destaca su mayor altitud respecto a las citadas sierras, pues la Sierra del Pisco tiene su mayor altitud en el pico del mismo nombre, con 1.393 metros; la Sierra de Santa Eufemia, con 1.222 metros, y la mayor altura de la Sierra de Jurés es de 1.556 metros.

Dicha altitud se encuentra en el denominado Pico de las Melas, en la Cartografía española; en cambio, en la Cartografía portuguesa recibe el nombre de Nevosa, figurando con este nombre en nuestra Cartografía un pico situado 800 metros más al Norte y unos 26 metros menos de altitud. Para subir al Pico de las Melas se precisa ser buen montañero, y la cima es casi como el filo de un cuchillo, presentando sus paredes casi verticales por sus vertientes Oeste y Este.

Este pico es el más alto del Norte de Portugal, pues excede en unos 20 metros al Pico de Larouco, situado en la Sierra de su nombre, y es también el más alto de todos los situados a lo largo de la frontera hispano-portuguesa.

La frontera sigue por la divisoria de las aguas que van a los ríos Limia, en España, y Cávado, en Portugal; partiendo de la Portela d'Home, la frontera sigue una dirección aproximada al Este para, poco a poco, ir tomando una dirección al Nordeste hasta llegar a los cotos de Fonte Fría, en que vuelve a dirigirse al Este. Desde la divisoria, la Sie-

rra se compartimenta en numerosos barrancos formados por los espolones que se dirigen hacia el Norte-Noroeste, en España, y hacia el Sur-Sureste, en Portugal.

INTERÉS GEOLÓGICO DE LA SIERRA

Si esta Sierra es interesante desde el punto de vista geográfico, lo es mucho más desde el punto de vista geológico; de todo cuanto he podido leer acerca de la constitución geológica de la Sierra, no creo que sea suficiente para tener un conocimiento real y completo de la geología de la misma.

La falta de comunicaciones hasta época reciente, el alejamiento de poblaciones importantes; las más próximas, Orense en España y Braga en Portugal, están situadas a la misma distancia aproximadamente y a más de 100 kilómetros y por la naturaleza abrupta de la Sierra, creo puedan haber sido los factores para que fuera poco visitada por quienes podían haberla estudiado.

Geólogos alemanes e ingleses la han visitado últimamente, pero no he podido saber si publicaron sus conocimientos de la Sierra. Según los informes que me ofrecieron en la mina portuguesa de los Carris, un geólogo inglés pasó cerca de seis meses en ella, y desde esta visita han transcurrido cinco o seis años.

De la visita a la Sierra de un geólogo alemán, en el año 1940 ó 1941, surgió una de las minas más importantes de volframio y molibdeno de Portugal; me refiero a la citada mina de Los Carris, cuya producción diaria actual de volframio es de 500 a 600 kilogramos y de una riqueza de 65 a 70 por 100; dicha mina fué empezada a explotar por los alemanes casi al final de la segunda guerra mundial, y luego ha pasado a propietarios portugueses.

INDICIOS DE EXISTENCIA DE MINERALES RADIACTIVOS EN LA SIERRA

En la campaña de este verano de 1956 colocamos 130 marcos o mojones a lo largo de 10 kilómetros de frontera en la Sierra de Jurés, y pude dedicar algún tiempo a la recogida de muestras; el gerente de la mina de Los Carris me mostraba una cajita de diversas muestras recogidas por personal de la mina, y una de ellas acusaba una gran radiactividad, de lo cual me parece deducir que el contenido en uranio ha de ser elevado.

Me indicaron el lugar donde había sido recogida aquella muestra; se trataba de una calicata hecha en busca de volframio; está situada en terreno portugués, en la vertiente Este del Pico de las Melas, a unos 200 metros en línea recta de la frontera; logré encontrar otras dos muestras del mismo tamaño aproximadamente y las mismas características físicas, pero la roca donde fueron encontradas sueltas no dió señal de radiactividad alguna.

Dicha calicata está hecha en una pequeña vaguada que nace en el marco 118-J de la frontera, y en ella aparecieron algunas muestras de berilo, una de ellas de tamaño muy pequeño, pero tan limpio el cristal, que podía pasar perfectamente por una aguamarina.

Seguí la investigación, vaguada arriba, y encontramos alguna muestra de volframita, y en zona española encontramos bastantes muestras pequeñas de berilo.

Con posterioridad, y al pie del Pico de la Nevosa, dentro de España, encontré otra muestra que tiene señales de radiactividad. En algunos de los granitos, sobre todo en una calicata hecha en terreno español en busca de la pro-

longación de los filones de volframita de Los Carris, el «Geiger» acusaba una radiactividad mayor que el fondo.

En la calicata citada se aprecia que la roca es una pegmatita con fenocristales de feldespatos, ortosa y masas amorfas de feldespatos, con colores cárneos más o menos claros. En la fotografía que se acompaña, en la cual está señalado el lugar donde aparecieron las muestras radiactivas y también se señala un punto de la frontera; la fotografía está tomada desde el Sur hacia el Norte.

La Sierra se encuentra plagada de pequeñas calicatas hechas por aldeanos portugueses en busca de cristales de cuarzo, muy hermosos, por cierto, que venden a los agüistas que acuden en gran número al balneario o estación termal de Gerez (Portugal).

El granito de la Sierra está recorrido por numerosísimos filones de cuarzo, generalmente de muy pequeña potencia y de direcciones constantes, unos de dirección Norte 15° y otros Norte 50°, siendo estos datos aproximados; numerosas diaclasas cuartejan al granito y favorecen la erosión.

Hemos visto en algunos lugares trozos de gneis englobados en el granito; en la pista que sube a la mina de Los Carris hay, en algunas trincheras de la misma, asomos de rocas más oscuras, al parecer gabros.

Uno de los accidentes geológicos que más me ha llamado la atención han sido los valles de los ríos de Gerez y Maiceira, en Portugal, y su prolongación por el del río Caldo, en España; parecen valles de hundimiento, y las caldas de Gerez brotando en una falla y las caldas de río Caldo en España, ambas muy importantes, situadas casi en los extremos de dichos valles, parecen indicar una línea de fractura o fallas.

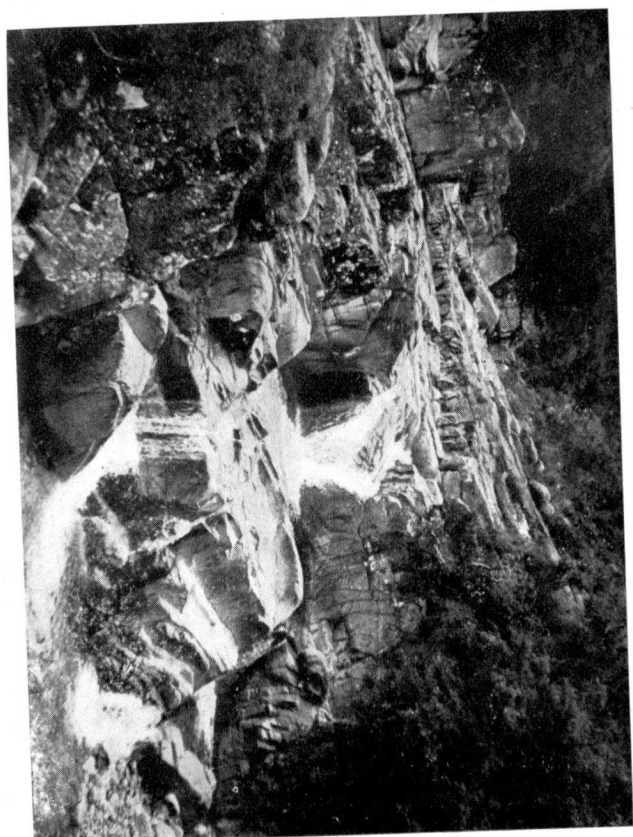
También me pareció observar, sobre todo en el valle del

río Homen y en el valle del río Gerez, señales de glaciarios; en las grandes rocas de las laderas se ven como estrías que bien pudieran haber sido producidas por glaciares, y en el valle del río Caldo parecen verse algunas morrenas glaciáricas.

MINERÍA EN LA SIERRA

Hay muchos permisos y concesiones mineras en esta Sierra, pero en explotación sólo existen tres minas, dos en Portugal, la de Borrageiros y la más importante conocida por Los Carris; sus pertenencias llegan a la frontera a lo largo de unos cuatro kilómetros; en esta mina extraen volframio y molibdeno. Está magníficamente equipada; en ella trabajan unos 300 obreros, los cuales viven permanentemente en las proximidades de la mina en viviendas situadas a 1.450 metros de altitud.

En la parte española sólo hay una mina en explotación, la denominada o conocida por Las Sombras; en el paraje donde está situada fué donde primeramente se encontró volframio en la Sierra y del cual, en un principio, se aprovecharon los buscadores portugueses, a pesar de estar en terreno español, pero por no estar amojonada la Sierra en aquel entonces, así como por lo agreste del lugar y proximidad de la frontera, pudieron llevarlo a cabo; poco después fué hecha la petición de la mina en España y actualmente trabajan en la mina unos 20 obreros; en ella sólo aprovechan el volframio, y su explotación deja mucho que desear. En esta mina se presenta el volframio en forma de volframita, y también existe alguna scheelita, así como también hay molibdeno en forma de molibdenita, aprovechándose tan sólo la volframita; carece de separa-



Barranco del río Honen.



Vista de la mina de «Las Sombras» desde el marco 79-J.

Notas paleontológico - estratigráficas

POR

56:551.7

J. DE LA REVILLA y J. M. RIOS

I

GOTLANDES CON *CARDIOLA INTERRUPTA* Y
ORTHOCERAS EN LA HOJA DE SALIENT DE
GALLEGO

por

JOSE DE LA REVILLA y JOSE M.^a RÍOS

Durante las tareas del Primer Campamento de Geología que para prácticas de los alumnos de la Escuela de Minas se realizan cada verano bajo la dirección de José M. Ríos, profesor de Geología de dicho Centro, encontramos un rico yacimiento, tanto por la calidad como por la cantidad de ejemplares de fósiles, entre los que desde el primer momento se reconoció la *Cardiola interrupta* y grandes y bien conservados Orthoceras de tipo gotlandés, de modo que no vacilamos entonces en reconocer esta formación.

Clasificados más tarde estos fósiles por D. José de la Revilla en el Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico y Minero, quedó confirmada aquella determinación provisional y se logró la de otros varios géneros y especies de la misma localidad.

Proceden de grandes bloques de caliza negra, que no están «in situ», pero que por su gran tamaño y sus bordes angulosos no se alejarán mucho, probablemente, de su lugar de procedencia, aún no localizado.

El hallazgo se hizo en el barranco de San Lorenzo, en su

parte baja, ya cerca de la confluencia con el Gállego, entre Pueyo de Jaca y Hoz de Jaca.

La descripción y reproducción de algunos ejemplares se encuentra en este mismo texto como Apéndice IV del trabajo denominado «Memoria acerca de la organización y resultados logrados en el Segundo Campamento para prácticas de Geología. Panticosa, 1956», y a él remitimos al lector.

II

FLORA CARBONIFERA DE BIBILES Y ESCANES (HUESCA, HOJA DE BISAURRI)

por

JUAN ANT.º COMBA, JOSE DE LA REVILLA y JOSE M.º RÍOS

a) *Introducción.*

El año 1949 recorrí, acompañado por Don J. A. Comba, una faja de la parte septentrional de la hoja de Bisaurri, en la zona limítrofe de las provincias de Huesca y Lérida.

Es la zona que queda entre los ríos Noguera de Tor, Noguera-Ribagorzana e Isabena, y esa faja se extiende entre las localidades de Malpás y Gotarta en Lérida, al norte de Pont de Suert, y Bonansa y Las Paules, en Huesca.

Intentábamos entonces la localización de determinadas sustancias minerales a partir de un dato antiguo y arrinconado, y aunque se pudo localizar el sitio, al parecer con alguna certeza, no dimos con los materiales señalados.

No se puede llamar estudio geológico al trabajo que hicimos en aquella ocasión, casi ni siquiera reconocimiento, puesto que nuestra misión era muy concreta y no exigía más que el examen cuidadoso y puramente mecánico de una banda de afloramientos permotriásicos. De modo que los datos recogidos no tenían suficiente volumen y cohesión para que su estudio y publicación constituyeran un avance al conocimiento de la región, que, además, había sido bien

estudiada por Misch en su conocido estudio sobre el Pirineo Central. Pero tuvimos la suerte de encontrar un yacimiento fosilífero del Carbonífero, con excelentes impresiones vegetales, algunas de las cuales constituían novedad. Y, en todo caso, este hallazgo sí constituía un dato interesante. Con algún retraso lo publicamos junto con otras notas estratigráfico-paleontológicas. La clasificación de los restos vegetales fué hecha por Don José de la Revilla, del Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico y Minero de España. Las reproducciones están hechas fotográficamente, unas directamente sobre los restos vegetales, otras sobre moldes de cera.

b) Breve nota geológica

Ya hemos advertido que nuestras observaciones geológicas fueron casi accidentales, pero se mermaría el interés del dato paleontológico si no lo ambientásemos geológicamente. He aquí lo más esencial de nuestras observaciones de entonces.

El mineral que tratábamos de encontrar debería hallarse, según nuestros antecedentes, en una banda de materiales permotriásicos, que nosotros recorrimos desde Malpás hasta Neril, pero que se prolonga más allá en ambos sentidos.

En general, la tectónica de esta región es violenta, lo que da lugar a unidades recortadas, pero precisamente esta banda es muy continua y relativamente ordenada, aunque muy pendiente.

Constituye la margen de las unidades alpinas en su contacto con el Paleozoico, y está constituida por materiales margo-detríticos y areniscosos de color rojo, y rojo achocolatado, que siempre se ha considerado que representan el Permo-Triás, es decir, el conjunto del Permiano y del Bunt, en facies idénticas y rarísimamente diferenciables

por lo que no queda otra solución que denominarlas conjuntamente. No presenta solución de continuidad en la zona que visitamos.

Se apoya discordantemente, con discordancia bastante variable, según las localidades, pero muy acusada en general, sobre formaciones paleozoicas predominantemente pizarras, que en su mayor parte corresponden al Carbonífero, aunque su estudio está todavía muy incompleto; más allá existen también el Devoniano y el Siluriano.

La discordancia casi siempre va acompañada por la presencia de conglomerados basales, pero a veces los lechos más bajos del Permo-Triás están constituidos por margas rojas, apizarradas y descompuestas, actualmente visibles bajo forma de pizarrillas. De modo que en la base del Permo-Triás abundan pudinguillas de pequeños elementos de materiales cuarzosos paleozoicos, que descansan, bien sobre el Paleozoico mismo o bien aparecen intercaladas en las pizarrillas rojas. También se encuentra hiladas discontinuas a niveles más altos. Mas raramente son verdaderas pudingas de gruesos elementos, situadas en niveles intermedios dentro del espesor del Permo-Triás. Pero para ofrecer más ordenadamente estos datos poco conexos empezaremos por las formaciones basales.

1) Paleozoico, predominantemente Carbonífero.

Al Norte de la continua banda permotriásica, que hemos seguido continuamente desde Erill-Castell hasta Las Lagunas, se extiende predominantemente el Paleozoico de la zona axial.

En la zona de Erill-Castell, conocida por sus explotaciones de carbón, se desarrolla el Carbonífero, de edad Estefanense según restos vegetales citados por Dalloni, entre otros. Hay pizarras grises, negras y areniscas grises, entre las que interestratifican coladas de pórfidos, en forma de

capas o mantos regulares; las pizarras carboníferas aparecen quemadas en el contacto.

Por encima descansa el Permo-Trias discordante, como muestra la fig. 1.^a, que se refiere a zonas próximas a Erill-Castell.

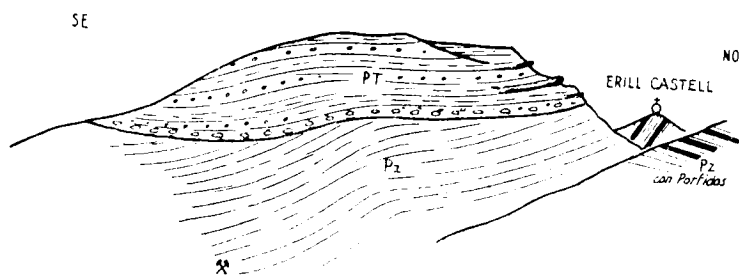


Fig. 1.

Discordancia del Permo-Trias con respecto al Carbonífero en la zona de Erill-Castell (croquis libre, sin escalas).

El contacto es mediante pudingas de canto de cuarzo y cemento silíceo.

Las circunstancias tectónicas son, sin embargo, complejas, como indica el croquis de la fig. 2.^a

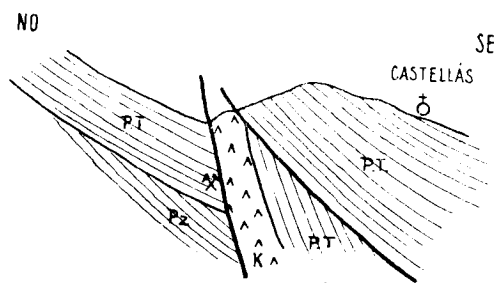


Fig. 2.

Zona de Erill-Castell - Castellás.

Pz. Carbonífero; PT. Permo-Trias; K. Keuper y Muschelkalk.

Sobre el Bunt de la banda permotriásica marginal, al Sur de Erill-Castell, reposan los tramos medio y superior trastornados, con yesos, margas y carniolas; pero en se-

guida pisamos de nuevo, antes de llegar a Gotarta, el Paleozoico que parece integrado por Carbonífero y Devoniano dudoso, este último al Sur inmediato de Gotarta. El primero, constituido por pizarras grises, con muchas diaclasas y filones de cuarzo y por calizas arenosas. El segundo, por calizas de tonos rojizos y verdosos, en bancos potentes y regulares. Entonces pensamos, sin apoyo paleontológico, que se trataba del Devoniano, pero como no se cita por nadie, lo ponemos ahora en duda. Antes de llegar a Pont de Suert encontramos otra banda de Permotrias, marginada por ambos lados por el Keuper. El Keuper septentrional está en contacto con el Paleozoico de Gotarta que flota sobre el Trias (Misch).

Vilaller, sobre el Noguera Ribagorzana, está situado sobre el Carbonífero de pizarras gris azuladas, oscuras, con laminillas de mica blanca, de buzamiento general al Norte. En el barranco de Biberri se enfrenta tectónicamente con una banda de Permotrias estrecha, tras la que repite el Paleozoico. En Montanuy se enfrenta éste con Permotrias inclinado fuertemente al Sur, sin que se aprecie cuál sea la índole del contacto, que no es visible. Con toda probabilidad lo es por discordancia aguda, como ocurre más allá en todo el borde de la banda marginal hasta Las Lagunas.

2) Permo-Trias.

El Permo-Trias, cuya potencia es muy variable, está constituido esencialmente por margas y arcillas rojas y por areniscas, en bancos alternantes, pero se puede dividir grosso modo en dos partes: la inferior, en que dominan las margas y arcillas sobre las areniscas, y la superior, predominantemente areniscosa. Las pudingas son raras, y más frecuentes los lechos lentejonares de pudinguillas, pero siempre muy subordinados. Los cantos son de cuarzo cris-

talino o lechoso, blancos o teñidos de rojo o negro. El cemento cuarzo, es extremadamente duro.

Reposa el Permotrias mediante discordancia erosiva sobre el Paleozoico, con ángulos muy variables. A veces se presentan pudinguias de cuarzo en la base, como al Sur de Erill-Castell. En el monte San Salvador, el Permotrias inclinado 40° al Sur, se apoya en discordancia total sobre un Paleozoico que buza al Norte. Más al Oeste el contacto es vertical, luego el Permotrias se desploma y es cabalgado por el Paleozoico que llega a reposar sobre el pliegue Permotriásico que ofrece su convexidad al N.; este cabalgamiento desaparece más allá, el Permotrias se endereza de nuevo y al Sur de Montanuy el Permotrias se inclina 49° al Sur frente a un Paleozoico que buza al Norte. El contacto es por gran discordancia angular. El Permotrias lleva en la base pudinguias episódicas sin continuidad.

En Benifons y otras localidades la base del Permotrias, en su contacto con el Paleozoico, está constituida por pizarrillas rojas y areniscas o sólo por margas y pizarrillas rojas, de modo que el contacto no es necesariamente de carácter detrítico basto, y cuando lo es, sólo con carácter puramente episódico. La discordancia angular en Benifons es de 27° (38° N. en el Permotrias y de 65° N. para el Carbonífero, con rumbos casi coincidentes).

Poco más allá, en el Baliera, el Permotrias mide E 0 S $55-85$, y el Paleozoico N 59 W 55 N. La base del Permotrias está constituida por conglomerados de gravilla y canto menudo de cuarzo.

En Las Lagunas, el Permotrias mide N 85 W $45-62$ S., y el Carbonífero N 55 W 75 N. La base del Permotrias está constituida por margas rojas apizarradas, y por encima hay una bancadita de conglomerados con abundantes y durísimos cantos de cuarcita y escaso cemento de índole cuarcífera.

La formación está constituida en conjunto por areniscas en corridas de gran uniformidad, tableadas o en bancos

medios y gruesos que alternan con lechos más gruesos de margas y arcillas rojas. Hay intercalada alguna pudinguias de gravilla de cuarzo. En la parte superior dominan areniscas muy duras y silíceas, en bancos compactos que destacan en crestones. Intercaladas hay pudingas de canto bien rodado de cuarcitas rojas y blancas de cemento silíceo, durísimas.

Algunas de las capas de margas arcillosas rojas del Permotrias son verdaderas lateritas, incluso de índole casi bauxítica, por ejemplo en Las Lagunas y en Erill Castell. Las margas con frecuencia contienen mica.

Al Sur de Montanuy el Permotrias se dobla en agudo sinclinal, en cuyo fondo reposa el Trias superior, y se desploma, de modo que el Keuper aparece pellizcado entre el Bunt. Es el Keuper de Noales.

Es muy notable la intrusión de rocas verdes de textura ofítica en las capas del Bunt, como ocurre al Sur de Las Lagunas, en mancha reducida; en Noales, donde una roca análoga, de tonos verdes claros, se inserta como un filón-capas entre los estratos del Bunt, cruza luego a través de cierto espesor, con inclinación tendida, y sigue después de nuevo como filón capas a un nivel más alto, ya en el contacto con el Trias medio. Pero la mancha más extensa y más interesante es la que existe a caballo sobre el cauce del Baliera, entre Bibiles, al Sur, y Montanuy, al Norte. Su área más extensa se desarrolla por el pendiente flanco del cauce izquierdo del Baliera. Hay allí rocas verdes de feo aspecto y de irregularísima disposición, quizá por estar tectonizadas. Parecen estar totalmente incluidas en el Permotriásico, aunque no hemos contorneado toda su masa. Da la sensación de una gran masa ofítica que ha intruido con tectónica diapírica, en el Permotrias, calcinando sus capas en las superficies de contacto. Arrastra fragmentos y bloques de rocas paleozoicas, en inclusión y marginalmente. Algunos fragmentos contienen artejos de crinoide. El Per-

mo-Triásico aparece levantado y comprimido al contacto y empuje de las ofitas

En el borde Norte, entre el Baliera y Montanuy, aparece pellizado, entre ofitas y Permotrias, un elemento constituido por grandes y pequeños elementos de calizas y areniscas, todo ello cargado de sílice metamórfica, en paso a cornubianitas duras y oscuras. Es en estos bloques calizos donde se ha encontrado la flora, que clasificada por Don José de la Revilla, del Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico y Minero de España, figura más adelante.

También hay cuarzozos blancos con los cantos apenas redondeados que constituyen una brecha sedimentaria, y también hay pizarras paleozoicas muy laminadas.

Hay muestras de malaquita y azurita en las calizas incluídas en la masa ofítica.

Junto al Noguera Ribagorzana, frente a Vihuet y al otro lado del río, hay otra mancha más reducida, comprendida entre el Bunt y el Trias medio y superior, en la que se encuentran abundantísimos silicatos verdes del tipo epidoto.

3) Trias medio y superior.

Mientras que el Permotrias, aún afectado con frecuencia por violentas deformaciones tectónicas, presenta, sin embargo, una disposición general relativamente ordenada y a grandes trechos está muy inclinado, pero no deformado; el resto del Trias aparece siempre en confuso y revuelto desorden. Sólo se salvan algunas veces los lechos inmediatamente sobrepuestos al Bunt que consisten en calizas negras y amarillas (nankin en superficie, negras en fracturas) tableadas, en lechos regulares alternantes, que pasan a y alternan con carniolas y yesos; y arcillas rojas, verdes y negras. Aparecen en perfecta concordancia con el Bunt, y, más blandos que él, están con frecuencia denudados en hon-

donadas (fig. 3). Como sustenta a bancadas calizas y carniolosas del Muschelkalk, destacadas en crestón, Misch las atribuye al Röt.

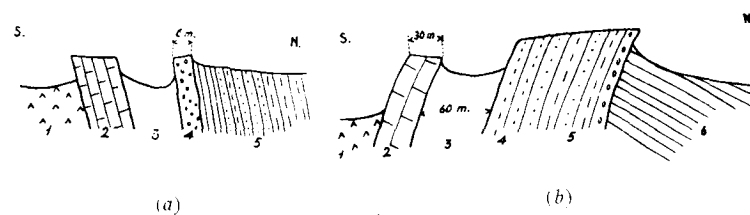


Fig. 3.

(a). En el Noguera de Tor, al N. de Castillo de Tor; (b). En el Barranco de Iñil, al Sur de Montanuy.

El Röt entre el Noguera y el Baliera.

1. Keuper; 2. Muschelkalk; 3. Röt; 4. Pudinguilas del Permo-Trias; 5. Permo-Trias; 6. Paleozoico. (Sin escala.)

El Muschelkalk y el Keuper aparecen con facies típica germánica. El primero, como calizas tableadas y carniolas, y el último, como margas rojas, vinosas, verdes, violadas y negras, con yesos, carniolas, ofitas y jacintos de Compostela, en revueltísimas masas que engloban en las márgenes elementos del Röt, con el que frecuentemente se confunden en violentos trastornos, y del Permotrias. Este último con frecuencia aparece deformado en la proximidad del Keuper y se ordena conforme nos alejamos de él.

El Trias superior y medio marginan por el Sur el Permotrias de la larga banda permotriásica, y se encuentra implicado en sus zonas de trastornos y repliegues, como ocurre en Noales y Escanés y al Sur de Montanuy, localidades apropiadas al examen del Röt. Y también en Malpás y Pont de Suert, en Erill Castell y en la zona del Gotarta.

RELACION DE VEGETALES FOSILES
DE BIBILES-ESCANES

Artisia transversa, Artis.
Eupecopteria pteroides, Brong. Estefanense.
Alethopteris friedeli, Bert. Estefanense.
Alethopteris friedeli, Bert. Estefanense.
Neuropteris ocata, Hoffm. Westfaliense.

| | | | |
|---|---|---|---|
| » | » | » | » |
| » | » | » | » |
| » | » | » | » |
| » | » | » | » |
| » | » | » | » |
| » | » | » | » |

Callipteridium gigas, Gutbier.

Hullero.

Artisia transversa, Artis.
Callipteridium gigas, Gutb. Hullero.
» » » »
Linopteris Brongniarti?, Gutb. Estefanense
» » » »

III

FAUNAS CRETACEAS CONFUSAS DE LA PROVINCIA DE SANTANDER. ¿PROBLEMA PALEONTOLOGICO O ESTRATIGRAFICO?

por

ANTONIO ALMELA, JOSE DE LA REVILLA y JOSE M.^a RÍOS

En Matienzo, en la provincia de Santander, al Sur de Solórzano y Norte de Arredondo, se ubicó y se ha realizado un sondeo en busca de petróleo. El estudio geológico fué realizado por J. Bowers, quien, de acuerdo con los conceptos generales prevalecientes acerca de la estratigrafía del país, estableció que el fondo del valle (endorreico) en que se había de emplazar el sondeo estaba en los límites aptense-wealdense.

Ya hace años que recorrí esa misma zona al principio de una campaña, cuyos resultados (en parte) se acaban de publicar ahora (1), y establecí más o menos esa misma separación.

Pero al practicarse las excavaciones para la explanación de las instalaciones del sondeo se encontraron una serie de fósiles que cuidadosamente recogidos por Don Carlos Muñoz se clasificaron luego en el Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico y Minero por Don José de la Revilla.

(1) «Bosquejo Geológico de parte del País Vasco Cántabro», J. M. Ríos, Instituto de Estudios Pirenaicos, Zaragoza, 1954 (aparecido en 1956).

El hallazgo, que era bastante rico y variado, comprendía diversos tipos de Ammonites.

Fué sorprendente, al disponer de la lista de clasificaciones, comprobar que abundaban entre las especies clasificadas las cenomanenses. Los Ammonites, las Neitheas, las Orbitolinas mismas, todo tenía un aire muy sugestivo del Cenomanense.

La primera hipótesis era, lógicamente, la de que pudiera quizá tratarse de una falla, pero ni la capacidad del geólogo que estudió la estructura, ni mis propios recuerdos de ella, aunque ya remotos, abonaban mucho tal posibilidad. No obstante, era preciso comprobarla (2). En consecuencia, me trasladé en seguida allí y empecé un reconocimiento adecuado, aunque rápido, de la estructura. Llegué al convencimiento, una vez recorridos los contactos críticos, de que esa hipótesis debería quedar descartada por improbableísima.

Recogí una serie de fósiles, a partir de los niveles más altos, hasta los más bajos visibles, y volví a buscar cuidadosamente en el escarpe originado por la excavación.

Las líneas generales de la disposición del terreno están explicadas en el croquis de la fig. 4, que es un esquema compuesto y sin escala.

En él se reconocen los tramos clásicos en la forma en que hasta ahora se habían clasificado siempre.

Así partimos de un nivel cenomanense, el de la collada de la Venta de las Varas, y descendemos por la serie; atravesamos un potente paquete de margo calizas dominantes y calizas subordinadas, en lechos gruesos, regulares y bien estratificados que contienen Orbitolinas y Terebratulinas, entre otros fósiles. Su parte baja contiene lentejones de areniscas silíceas que recuerdan el Abense. Más abajo

(2) Quedó perfectamente comprobado «a posteriori», a la terminación del sondeo, cuyos resultados estuvieron de acuerdo con lo previsto por la geología de superficie.

se desarrolla un potente espesor de calizas, en que algunos niveles están irregularmente dolomitizados. Su base coincide grosso modo con el fondo actual del valle y queda ligeramente más alto.

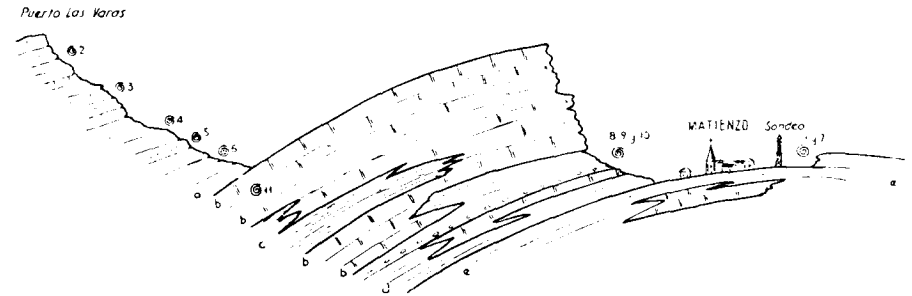


Fig. 4.

Corte esquemático de Matienzo (sin escala)
calizas aptenses: c. Wealdense: Nivel de gruesos. *Exogyra aquila* Coq.

Por debajo aparece una especie de flysch pardo amarillento, margoso-pizarreño, que contiene aún lentejones margoso-calizas y calizas. Sólo la parte más alta de este paquete es visible.

El conjunto se dispone como un anticlinal cuyo flanco septentrional está muy bien y ampliamente desarrollado, el meridional es más breve e incompleto y su eje se dirige aproximadamente de E. a O.; su extremo oriental es una media cúpula muy bonita, y el occidental una serie de repliegues transversales que dan origen a un cierre más confuso.

Según el concepto aceptado de la estratigrafía de esta región, el conjunto margoso calizo superior debe representar el cenomanense-albense, el intermedio las calizas aptenses y el inferior el wealdense; si bien ya era cosa conocida que estas atribuciones se hacen un poco arbitrariamente, y que los límites no se establecen rígida ni riguro-

samente. Todo esto lo razoné en repetidas publicaciones, y más recientemente en la que cité antes.

Después de escribir este trabajo he trabajado con A. Almela en la región entre Santillana y San Vicente de la Barquera, cuyo estudio clásico fué realizado por Mejsaud, y allí se reconocen bien estos tramos de Matienzo, aunque en aquella zona las delimitaciones son netas y la estratigrafía muy regular, más que en ésta, cuyas características son intermedias entre las de aquella región occidental y el resto del País Vasco Cántabro, al Este, donde la irregularidad estratigráfica, en facies litológicas, es muy acusada.

Un cambio de la estratigrafía de Matienzo arrastraría a un cambio general de la de todo el país cántabro. Sería preciso rebajar el Cenomanense hasta abarcar por lo menos todo el Aptense, y entonces habría o que descubrir hiatos o incluir el resto del Cretáceo inferior en el antiguo Wealdense.

Las clasificaciones fueron hechas por D. J. de la Revilla y las correspondientes a la primera recogida, o sea a la realizada por C. Muñoz al comenzar el montaje de la sonda, son las siguientes (recogida en el punto 1 de la fig. 4, sobre Matienzo):

- Cyphosoma* sp.
- Neithea quinquecostata* Sow. Cenomanense-Turonense.
- Venus* sp.
- Acanthoceras* aff. *confusum*. Guéranger. Cenomanense.
- Mantelliceras* del grupo *Mantelli*. Cenomanense.

En la segunda y tercera recogidas encontré las siguientes especies (clasificadas, como las anteriores, por J. de la Revilla), distribuídas en los diferentes niveles como sigue:

- Punto 2.—*Orbitolina scutum*, Fritsch. Cenomanense.
- Peltastes clathratus*, Cott. Cenomanense.
- Terebratula semiglobosa*, Sow. Cenomanense.
- Alectronya* sp.

- Punto 3.—*Orbitolina scutum*, Fritsch. Cenomanense.
- Terebratula phaseolina*, Lam. Cenomanense.
- Arctostrea carinata*, Lam. Cenomanense.
- Alectronya* sp.

- Punto 4.—*Orbitolina scutum*, Fritsch. Cenomanense.
- Orbitolina trochus*, Fritsch. Cenomanense.
- Peltastes clathratus*, Cott. Cenomanense.
- Terebratula Dutempleana*, Cott. Cenomanense.
- Neithea quinquecostata*, Sow. Cenomanense.
- Exogyra cónica* d'Orb. Cenomanense.
- Nerinea* sp.

- Punto 5.—*Neithea quinquecostata*, Sow. Cenomanense.

- Punto 6.—*Orbitolina trochus*, Fritsch. Cenomanense.

- Punto 11.—*Policonites Verneuli*, Bayle. Aptense.
- Eoradiolites lyratus*, Conrad. Cenomanense
- Aptense (?).

- Punto 8, 9 y 10.—*Orbitolina scutum*, Fritsch. Cenomanense.
- Plicatula radiola*, Lam. Cenomanense.
- Neithea quadricostata*, d'Orb. Cenomanense.
- Exogyra aquila*, Goldf.

- Punto 7.—*Orbitolina scutum*, Fritsch. Cenomanense.
- Rhynchonella compresa*, Lam. Cenomanense.
- Rhynchonella lata*, Sow. Cenomanense.
- Neithea quadricostata*, d'Orb. Cenomanense.
- Natica* aff. *excavata*, Mich.

Subrayemos especialmente que en la parte baja del complejo aptense encontré un nivel, señaladísimo en la zona de Santillana-San Vicente, que contiene gran cantidad de la *Exogyra aquila*, grosísima y de grandes dimensiones, lo que permite establecer la correspondencia entre ambas series.

Como se ve, esta nueva recogida no aclarará ningún punto esencial. Especialmente las Orbitolinas resultaron sin significación estratigráfica.

En vista de ello regresé con A. Almela, y juntos volvimos a reconocer la serie. No hallamos nada que modificase el estado de cosas anterior, más bien quedamos más confusos aún al hallar en calizas aptenses (aptenses según las clasificaciones actuales) unos hippuritidos, que luego resultaron ser formas ancestrales. Fueron clasificados por Don José de la Revilla y su descripción y figuras acompañan a este texto.

Por consiguiente, queda planteado un problema estratigráfico paleontológico. ¿Es que, en efecto, son cenomanenses los conjuntos hasta ahora atribuidos al Aptense? ¿Se trata de falta de documentación en la bibliografía paleontológica a nuestra disposición? ¿Se trata de un caso de extensión vertical distinta y de mezcla de las especies cenomanenses y aptenses? Sólo un detalladísimo y minucioso estudio estratigráfico, con utilización de todos los recursos de microfauna, etc., etc., arrojaría seguramente luz sobre el problema, que quizás, después de todo, no existe más que en nuestra imaginación. Nosotros carecemos por ahora de tiempo y oportunidad para llevarlo adelante, pero lo ofrecemos a quien quiera y pueda ocuparse de él.

EORADIOLITES DE MATIENZO

Al hacer el estudio de los fósiles recogidos en Matienzo encontramos varios ejemplares de Radiolites que en principio creímos pertenecían al *Biradiolites lumbricales*, d'Orb., al que son muy semejantes; pero examinados detenidamente observamos en ellos todos los caracteres de los Eoradiolites.

Los caracteres específicos de nuestros ejemplares son

análogos a los del *Eoradiolites Lyratus*, d'Orb., por lo que los atribuimos a esta especie.

Al crear Douville el género Eoradiolites (*Études sur les Rudistes*) sitúa éstos en el nivel Albense-Cenomanense, y concretamente el Eoradiolites Lyratus en la base del Cenomanense.

Nuestros ejemplares han sido recogidos con *Exogyra Boussingaulti*, d'Orb, y *Polyconites Verneuli*, Bayle, por lo que consideramos su nivel Aptense.

A continuación figuramos varios ejemplares de *Eoradiolites Lyratus*, d'Orb. y creíamos que eran los primeros Eoradiolites citados en España; pero al repasar, con otros fines, la tesis doctoral de Mengaud acerca de la región cántabra (pág. 192), vimos que cita ejemplares de clasificación dudosa (*¿agria? ¿focadiolitas?*) que por todo lo que dice parecen coincidir con los nuestros, cosa que no se puede comprobar a falta de figuras en su texto. Proceden, en su caso, de Pedreña, y aún recuerda otros de la colección de la Escuela de Minas (*¿Madrid? ¿París?*), citados por Verneuil como procedentes de la entrada del puerto de Santander, de la Magdalena.

Todos los ejemplares están aumentados un tercio.

Diciembre 1956

LÁMINA I

1. *Artisia transversa*, Artis.
2. *Eufecopteris pteroides*, Brong.
3. *Alethopteris friedeli*, Bert.
4. *Neuropteris ovata*, Hofm.

LÁMINA II

1. *Callipteridium gigas*, Gutb.
2. *Linopteris Brongniarti?*, Gutb.

LÁMINA III

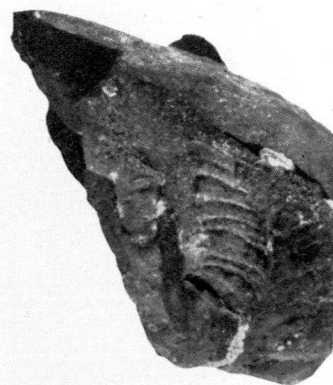
Eoradiolites Lyratus, d'Orb.



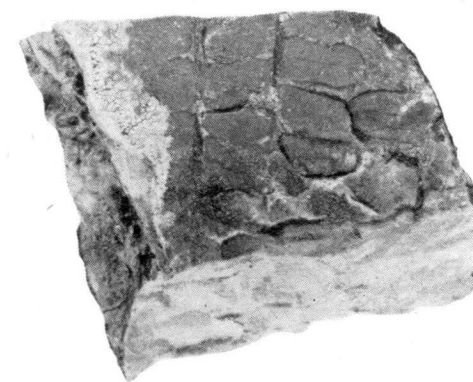
1



2



3



4

2



1





1



2



3



4



5



6

Descubrimientos de huesos de Dinosaurios en el
Cretáceo terminal de Cubilla (provincia de Soria)

POR

ALBERT F. LAPPARENT, INDALECIO QUINTERO
y EMILIO TRIGUEROS

ALBERT F. LAPPARENT, INDALECIO QUINTERO
y EMILIO TRIGUEROS

568.19:551.765(463.8)

DESCUBRIMIENTOS DE HUESOS DE DINOSAURIOS EN EL CRETACEO TERMINAL DE CUBILLA (PROVINCIA DE SORIA)

El notable cabalgamiento de San Leonardo, indicado en el mapa geológico de España, 1:1.000.000, unos 50 kilómetros al Oeste de Soria, termina periclinalmente y arraiga cerca del pueblo de Cubilla. El sinclinal que le sigue inmediatamente más al Sur comprende la serie clásica del Cretáceo Superior de Soria (1); margas y calizas del Cenomanense con lacazinas e hippurites. Numerosos barrancos recortan este conjunto más o menos vertical con un espesor de 600 a 700 m.

En el corazón del sinclinal se extienden capas más blandas de tintes vivos; calizas margosas blancas y rosas, margo-calizas de color ladrillo y calizas litográficas blancas.

Estas facies lacustres son típicas del Danés continental o Garumnense en sentido estricto.

Se han encontrado fósiles característicos de este piso en diversos puntos. *Lychnus* en sección de roca fueron hallados en los alrededores de Cubilla. En el barranco «El Ocinno», al Sur de Talveila, hemos recogido: *Bauxia baylei*,

Bauxia disjuncta, *Paludina beaumonti*, *Palaeostoa* cf. *hispanica*.

Sin embargo, merece señalarse como más importante otro hallazgo: A 2 kilómetros al Sur de Cubilla, la carretera corta en trinchera el Danés de capas plegadas que suceden al Senonense vertical. En arcillas blancas y violáceas, situadas inmediatamente debajo de una caliza litográfica blanca característica, hemos encontrado restos óseos de dinosaurios y recogido algunos en los desmontes de la carretera, la cual ha debido cortar un yacimiento que de otra manera no sería visible en superficie.

Hasta ahora se pueden reconocer entre esas piezas dos géneros distintos de dinosaurios:

1.º Una vértebra caudal posterior, alargada y amphi-coélica, de 9 cm., debía pertenecer a un saurópodo herbívoro, bastante grande, del género *Hypselosaurus Matheron*.

2.º Una vértebra dorsal anterior, un fémur derecho (porción distal) y una tibia (parte próxima) corresponden al *Rhabdodon priscum Matheron*, iguanodóntido muy conocido en el Cretáceo terminal de Provenza y Transilvania (2).

Este descubrimiento da a conocer, por primera vez en España, la presencia de dinosaurios en el último piso del Cretáceo, período que precede inmediatamente a su extinción en el mundo entero antes del Eoceno.

Se ve también confirmada la constancia de las facies lacustres, de las faunas de moluscos y de los vertebrados en este período final del Cretáceo en una zona circunmesogea, que comienza en Transilvania, pasa a Provenza y Languedoc y luego, a través de los Corbières y los Pirineos Catalanes continúa, en fin, hasta el Oeste de Soria.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) FALLOT (P.): *Note préliminaire sur le crétacé de la région de Soria*. «Bull. Inst. Catal. Hist. Nat.», vol. XXXI, núm. 7.
- (2) SÁENZ GARCÍA (C.): *Hallazgo de la fauna Garumnense en la sierra de Picofrontes (Soria)*. «Bol. Sdad. Esp. Hist. Nat.», t. 36, Madrid (1936).
- (3) LAPPARENT (A. F. DE): *Les Dinosauriens du Crétacé supérieur du Midi de la France*. «Mém. Soc. géol. France», núm. 56 (1947).

Diciembre 1956

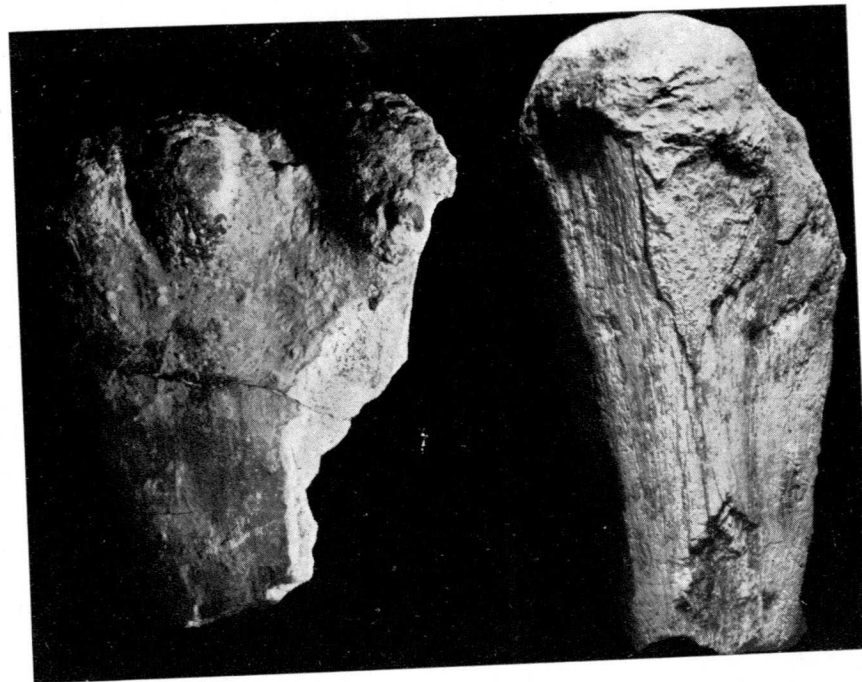


FIG. 1.

FIG. 2.

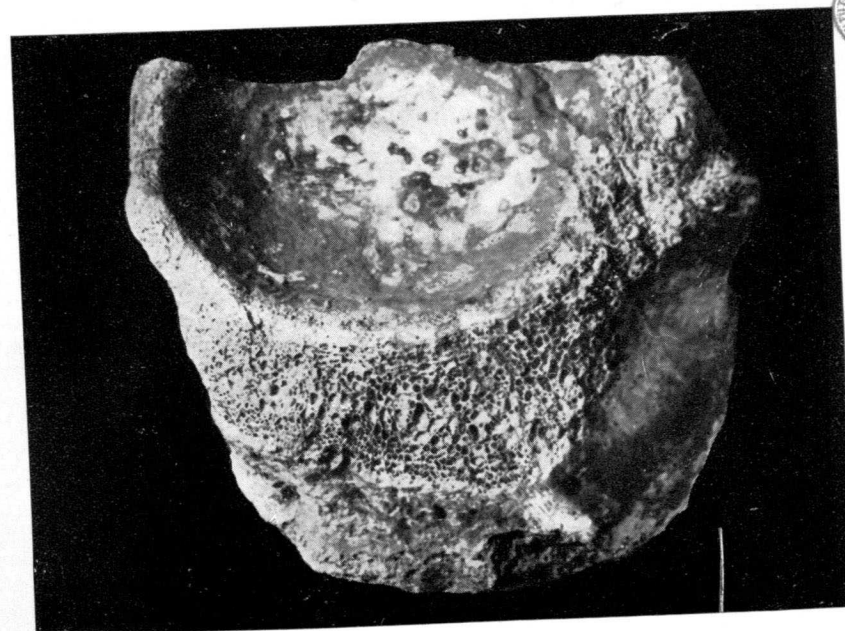


FIG. 3.

1, fémur derecho (porción distal) $\times 1/3$; 2, tibia (parte próxima) $\times 1/2$;
3, vértebra (tamaño natural).



Notas mineralógicas (II)

POR

ANTONIO DUE ROJO, S. I.
Director del Observatorio de Cartuja (Granada)

ANTONIO DUE ROJO, S. L.
Director del Observatorio de Cartuja (Granada)

NOTAS MINERALOGRAFICAS (II)

Dos tercios de los elementos químicos conocidos forman el catálogo de los metales, cuyos caracteres, a veces antagónicos y muy variados, pero siempre fecundos en útiles aplicaciones prácticas, se distribuyen en una extensa gama de valores: el oro, campeón de maleabilidad, ha podido ser batido en hojas de 6,25 millonésimas de mm.; la plata es el máximo conductor de la electricidad; el de densidad máxima es el osmio (22,5), que se usa en aleación con el iridio, para guarnecer las puntas de las plumas estilográficas, y en el extremo opuesto de esta escala se encuentra el litio, cuya densidad no llega a 0,5; en el punto de fusión ocupa el más alto lugar el volframio o tungsteno, que funde a 3.370° C., es decir, la mitad de la temperatura externa del Sol, y el más bajo, naturalmente, el mercurio, con —40°, aunque también merece citarse el galio, que se funde en la mano (a 30°) y participa de la anomalía del agua, de dilatarse cuando se solidifica; el indio es ideal para soldar, por su enorme poder adhesivo: basta oprimir a mano dos trozos para unirlos de modo que para volverlos a separar hay que cortar; al modo de los novísimos detergentes, es el más *húmedo* de todos los metales, aunque no moja al

hierro; su bajo punto de fusión permite sustituir con él a la cera como molde que luego se ha de derretir; sin embargo, cuando se requiere gran precisión, por ejemplo, para las hojas de turbina en los aviones de propulsión a chorro, el mejor sustituto es el mercurio helado, que se elimina fácilmente con solo dejarlo a la temperatura ambiente, una vez terminada la operación en frío; el bismuto tiene la extraña propiedad de ser repelido por el imán, en vez de ser atraído o permanecer neutro, pero su uso más notable es como compañero de otros en aleación, de lo que se tratará más abajo; otro tanto le sucede al cromo, el de dureza máxima, en que únicamente le vencen los metaloides diamante y boro (5).

ALEACIONES

Hacia el año 1875 regía la norma práctica de que a cada caballo de vapor correspondía un peso en las máquinas de 36 kg.; hoy esa cifra se ha reducido increíblemente hasta poco más de 200 g. H P (180 veces menos), debido no solamente al uso de los nuevos carburantes, sino acaso más decisivamente a las aleaciones metálicas que han hecho posible su uso en condiciones extremas de temperatura y presión, a las que resisten victoriosamente las piezas de los órganos vitales.

El hecho de la aleación no es un simple compromiso, del que necesariamente hayan de resultar propiedades intermedias entre las que aporta cada elemento, sino que a veces los resultados son desconcertantes e insospechados; se rigen por leyes caprichosas y difíciles de explicar, pero cuyo descubrimiento ha dado muchas veces la clave de no pocos problemas industriales; sin ser, como no lo es, com-

binación química, merecería el nombre atrevido de *combinación física*, en cuanto que con ella se altera la estructura cristalina del metal base, lo que modifica profundamente sus propiedades originales (6). De los siguientes cuatro metales: Sn, Pb, Cd y Bi, el primero es el que tiene más bajo punto de fusión (232°), y sin embargo el de la aleación resultante no pasa de los 66°, por lo cual se usa para fusibles en los avisadores de incendios, que funcionan automáticamente al menor asomo de fuego; otro tanto ocurre con la del Bi y el In, que funden, respectivamente, a 269 y 105, pero juntos lo hacen a 48, por lo que se ha sugerido su empleo para enyesar miembros fracturados. El Hg, que se hiele a -40°, si contiene aunque sea una traza de talio, resiste en estado líquido hasta -64°, con lo que se ha resuelto el problema de usar termómetros de mercurio en los vuelos polares; en cambio, si se añade ese mismo talio al plomo, *sube* su punto de fusión (5).

En ocasiones interesa eliminar de la masa metálica aleaciones indeseables o impurezas, que desvirtúan sus buenas cualidades; refinando el hierro por alguno de los métodos indicados en la reseña anterior, se le ha podido dar una tenacidad 120 mayor que la del denominado «comercialmente puro»; el molibdeno, que también la posee en alto grado, se hace quebradizo cuando está contaminado por lo menos con un 0,0005 por 100 de oxígeno; el titanio, que se ha llamado el metal del porvenir, falla lastimosamente si contiene un 0,02 por 100 de hidrógeno, y algunas aleaciones magnéticas, que normalmente encierran un 0,0018 por 100 de nitrógeno, aumentan hasta 30 veces su potencia magnética cuando se logra reducir esa cifra a 0,0001; el cobre en cristales filiformes (bigotes) ha resistido una tracción de 42,2 kg./cm.², siendo así que el cobre recocido, formado

por varios cristales, se rompe con tracciones 20 veces menores, y si se trata de cristales imperfectos, 120 veces (4).

No es fácil entender el por qué de esta eficacia de tan mínimas cantidades de elementos en aleación: parece tratarse de un caso de catálisis, semejante a la que en los seres vivos ejercen con los metales las enzimas, o a lo que ocurre con los *micronutrientes* Fe, Cu, Zn, Mg, Mn, Mo, etcétera, esenciales para la vida, cuya falta provoca lo que se ha denominado «hambre oculta» (7).

METALES «MODERNOS»

Litio.—Seguiremos aproximadamente el orden numérico de la tabla de elementos en esta reseña de aplicaciones, nuevos métodos de obtención y otros datos interesantes sobre algunos metales en particular, revalorizados, por decirlo así, en estos últimos tiempos; en efecto, el litio, por el que comenzamos, se usaba hasta hace poco en pequeñísimas proporciones, a causa de su elevado coste: el espodumeno, mineral del que se extrae, lo contiene al 2,5 por 100; Edison empezó a usarlo para baterías y en la actualidad se emplea para telegrafía doble y vehículos de tracción eléctrica. Pero si, como se ha dicho, una bomba de hidrógeno necesita cinco toneladas de Li, se comprende que la antigua parsimonia quedará definitivamente desplazada; por ser más barato y abundante que el uranio, se espera mucho de él para usos pacíficos de la energía atómica, con tal que la Comisión descalifique los rumores alarmantes que han circulado acerca de la bomba de hidrógeno. Por lo demás, los minerales de litio se hallan muy extendidos por diversas regiones, aunque en depósitos bastante pequeños; en

igualdad de peso proporciona en los reactores tres veces más energía nuclear que el uranio.

La segunda guerra mundial halló para él muchas aplicaciones útiles; una de las más importantes fué servir de utilísimo complemento de las emisoras «Gibson Girl»: las balsas para hidroaviones, con plazas para cinco hombres, llevaban una radio, cuya antena de 60 metros, podía ser izada mediante un globo de 170 litros de capacidad, lleno de hidrógeno, que se obtenía con una cápsula de hidruro de litio, que lo produce al ser sumergida en agua del mar; asimismo se empleó para purificar el aire dentro de los submarinos, para el desgelamiento de las alas de los aviones, señales luminosas y cerámica a propósito para resistir altas temperaturas en aviación. En la postguerra es un ingrediente ideal en la purificación del cobre y bronce, porque basta una traza para que se combine con las impurezas de gases y óxidos en el metal fundido, y como es tan ligero, se espuma muy fácilmente; en particular para el acero, que desde los 900° forma óxidos con el oxígeno del aire y antes había que eliminarlos por un método largo y caro, a base de SO_4H_2 , ahora es suficiente la vaporización de una pequeña porción o cartucho de Li, con lo que se forma sobre la masa fundida una capa protectora de gas lítico capaz de impedir la absorción del oxígeno. El uso más vulgarizado es en cerámica para la fabricación más fácil y económica de objetos de porcelana, porque a causa de su bajo punto de fusión favorece el proceso y ahorra carbón; en los aparatos de acondicionamiento de aire se hace pasar a éste por un tanque donde hay una solución de hidruro de litio y se usa también en la fabricación de tubos de televisión, de la vitamina A, en la industria del petróleo (en la que se calcula una demanda potencial cuatro veces mayor

que la producción total de 1953): desde 1954 el consumo fué diez veces mayor que antes de la segunda guerra mundial, y se espera que aumente mucho más todavía (10).

Sodio.—Como tantos otros, dejó de ser definitivamente una mera curiosidad científica para convertirse en pieza fundamental de la tecnología moderna; más de un centenar de empresas lo adquieren hoy a razón de unos 150 millones de kilogramos anuales: se vende lo mismo en bloques de un kilogramo que por cargas de 40 toneladas, y la curva de producción sube continuamente y aprisa, debido a las mil y una aplicaciones que cada día se le encuentran en campos de explotación tan diferentes como el lavado de los platos y los submarinos atómicos, fábricas de tejidos o de plásticos, de automóviles y aeroplanos o de insecticidas. El empleo del sodio en un grado de pureza de 99,95 por 100 para reactores nucleares se dió a conocer al público en una información de la Marina de los EE. UU. en que se anunció que este metal era el único agente trasmisor del calor en las máquinas del submarino atómico «Sea Wolf»; además de ser un excelente conductor del calor y de la electricidad, tiene la apreciable cualidad de absorber y transmitir el calor con extraordinaria rapidez. Si la imaginación puede ahora lanzarse segura a calcular el futuro consumo de sodio que se hará en las proyectadas centrales térmicas nucleares, también habrá que pensar en la solución de los problemas que suscitará el manejo en grandes masas de un elemento calificado justamente de *salvaje* por su violenta afinidad química; en particular será esto aplicable a los aeroplanos atómicos, cuyas válvulas llenas de sodio y herméticamente selladas funcionarán sin duda mejor y no se deformarán con las altas temperaturas, pero en caso de avería o rotura crearán gravísimos peligros. Como no sirve para este fin el Hg,

por su bajo punto de fusión, se pensó en una aleación de Bi con otros varios metales, todos en estado líquido, y parece que se espera algo de ella; la de Na y K tiene los mismos inconvenientes que el Na sólo, aunque parece que se han vencido en teoría: últimamente se consideraba ideal la de Bi, Pb, Sn e In, válida hasta los 500°, pues se ha comprobado que con ella los tubos de acero cromado no sufren corrección al conducirla; se ha ensayado recientemente en la General Electric, y con buen éxito, una aleación del acero con Cr, C y Ni, que además da un filo duro y resistente a los instrumentos cortantes, y como pesa la mitad que su rival, la del carburo de tungsteno, promete aventajarla (5).

Los novísimos detergentes o «jabones sin jabón» han sido posibles gracias al sodio, que transforma las grasas en alcoholes: los ingredientes que hacen que agua *moje* más y han revolucionado la tintorería, la industria del caucho y la de los germicidas, proceden todos de la misma fuente, que ha resultado un requisito indispensable, empleado hoy en cantidades enormes, para la elaboración de sulfamidas, barbituratos, antipirinas, antimalarias y antihistaminas; uno de los usos más frecuentes y en gran escala es la fabricación del plomo tetractilo, lo más eficaz para el debido funcionamiento de la gasolina en los motores de alta compresión: se obtiene por la reacción del cloruro de etilo sobre una aleación de Pb y Na; innumerables piezas de acero en máquinas de todas clases se han podido hacer más resistentes al rozamiento someténdolas a la acción del cianuro de sodio fundido; de esta sal se gastan millones de kilogramos anuales en galvanoplastia para obtener artículos de un brillo metálico durable, y es también un factor básico en la industria de la televisión. Por su acción de super-

ficie» al ser depositado en cuerpos sólidos de suyo inertes (sal, cenizas, carbón, aluminio, arena...), cobran éstos una activa afinidad de una aplicación práctica tan evidente como provechosa.

Se ha planteado, a propósito del transporte del sodio en grandes cantidades, el curioso problema de movilizarlas en estado líquido, ya que se funde por debajo del punto de ebullición del agua y sería más práctico conducirlo por cañerías a los camiones-tanques como si fuese petróleo; aún no está resuelto, pero se espera la solución en un futuro no muy remoto (1).

Titanio.—Mucho se ha discutido en pro y en contra de este metal de indiscutibles ventajas y de tan serios inconvenientes: se le ha llamado el metal del porvenir y al mismo tiempo se le reconoce como el «enfant terrible» de los metalúrgicos; se niega, y con razón, que sea un sustitutivo universal de todos los metales, una especie de panacea, pero hay que admitir al mismo tiempo que están justificadas cualesquiera investigaciones acerca de él, por costosas que resulten (15). Es, entre los demás de la actual era metálica, el que ha evolucionado más rápidamente, debido sobre todo a su demanda en el campo aeronáutico, puesto que a una solidez casi igual a la del acero y tan refractario como él a la corrosión, añade la ventaja de un peso poco superior al del aluminio y resiste muy bien temperaturas hasta de 400-650° C (más allá de este límite el acero es ya nuevamente insustituible); entre los mismos metalúrgicos hay diversidad de opiniones, bajo aspectos diversos: es una maravilla de docilidad, dúctil y maleable, y se deja modelar y transformar de mil modos, pero es duro y rebelde durante el proceso complejo de su fabricación: a pesar de ello, tales problemas prácticos se han resuelto y se produce hoy

en gran escala; tanques ligeros para ser aerotransportados, rifles ligeros de infantería, válvulas, hélices y piezas de máquinas en la Marina, proyectiles dirigidos, turbinas y accesorios para submarinos, y otros muchos usos, forman una larga lista en los gastos militares. La Comisión de Energía Atómica también lo pide en abundancia... aunque no se sabe para qué, lo mismo que las empresas ferroviarias, las de prospección de petróleo para taladros profundos, y hasta se habla de cacerolas y sartenes y hojas de afilar «eternas». Bastarán las siguientes cifras para dar idea del ritmo acelerado de su producción: las 75 toneladas de 1950 subieron a 500 en 1951, a 1.000 en 1952, y a principios del 54 (esto se escribía en 1953) a 7.000, con la esperanza de llegar a las 22.000 para 1956; todavía sigue siendo caro, aunque se hacen ya lingotes de una tonelada, porque aún no se ha llegado a la fabricación continua: hay que tratar aparte cada porción, entre otras razones porque se desprende en ella mucho calor e interesa ahorrar gastos de refrigeración.

El método Kroll, que con algunas variantes se emplea siempre, consiste en tratarlo con el Cl para formar tetracloruro de titanio, líquido pesado e incoloro, que se mezcla luego con Mg fundido en recipiente de acero a muy alta temperatura y en atmósfera inerte; así se forma Cl_2Mg y queda aislada la esponja de Ti, que hay que fundir más tarde en horno eléctrico, siempre en atmósfera inerte, a pesar de lo cual siempre capta algo de carbono de las paredes del horno; para evitarlo se recubren éstas de cobre, refrigerado con agua, y entonces se solidifica en las paredes frías una costra del mismo titanio, de donde resulta que éste llega a fundirse en un crisol de su propia sustancia; tampoco se puede soldar sino en atmósfera inerte, ni asestrar, porque el calor engendrado por la fricción lo endurece

ce, y por la misma razón es difícil tornearlo y aún pulverizarlo.

A pesar de todo, son tantas sus ventajas, que las compañías emplean gustosas grandes sumas en investigar la solución de las dificultades; algo parecido sucedió con el acero inoxidable, el Al y el Mg, y hoy se han vencido los obstáculos. Algunos procedimientos usados con esos tres metales «intratables» han dado resultado con el titanio, cual es la nitración, que endurece extraordinariamente las herramientas haciéndolas absorber N por su superficie exterior; por lo demás, las investigaciones citadas (la casa Dulont gasta en ellas un millón de dólares al año) empiezan a dar fruto: O. A. Wheelon, de la Douglas, ha perfeccionado una prensa hidráulica especialmente adaptable al tratamiento de planchas de Ti, que no obstante su enorme potencia, tiene un tamaño y peso diez veces menor que las ordinarias y ejerce una presión tres veces mayor (703 kg. cm.²); formando parte, en un 8 por 100, de las superficies exteriores de las cabinas en los nuevos transportes DC-7, se ahorrarán 100 kilogramos por cabina; el 75 por 100 de la producción actual se destina a diferentes piezas de los aviones de propulsión a chorro (17). Datos más recientes aún que los citados confirman algunas cifras arriba apuntadas: la Titanium Metals Corp. of America calcula que efectivamente se alcanzarán las 20.000 toneladas anuales en los Estados Unidos; se emplean ya con ventaja grandes hornos de refusión que trabajan en el vacío obteniendo lingotes de unas dos toneladas, que pronto verán duplicada su masa; otros perfeccionamientos de la técnica se llevan a cabo en la Gran Bretaña, en el Japón (cuya producción se ha decuplicado de 1954 a 1955) y en Francia: en todas partes se trabaja por hallar nuevos métodos, especialmente el electrolítico,

del que se espera mucho, a base del fluoruro doble de Ti y K (9). La era del titanio está todavía en sus comienzos, pero no falta mucho para que se cumpla la aspiración de hacerlo barato, abundante y cada día más útil (17).

Vanadio.—Gracias a un grupo de expedicionarios que en 1906 se aventuraron hasta la cumbre de los Andes peruanos, la casa Ford pudo revolucionar la industria del automóvil y los goznes de las esclusas del canal de Panamá están seguras de no desgastarse; añádanse a esto un millar de aplicaciones útiles y se tendrá una idea de la trascendencia del descubrimiento, hecho por ingenieros norteamericanos y peruanos, de un rico yacimiento de vanadio en Mina Ragra a 5.000 metros de altitud: ese metal valía entonces más que el oro. Los dos norteamericanos habían sido comisionados para buscar una mina de Va de que se habían tenido noticias; como éstas parecían exageradas, ya se disponían a volverse, cuando a última hora otro compatriota geólogo que estaba allí por otras razones, les trajo una muestra de más alto contenido que cuantas se conocían; dos días después llegaba la expedición a la cumbre de donde procedía la muestra.

Desde entonces ha llegado a ser este metal el más importante del equipo de aleaciones (Cr, Nb, W, Co, Va), que hacen a los aceros de los EE. UU. los más variados en propiedades útiles; entre los recuerdos de los primeros éxitos obtenidos está el certificado de un barbero que en 1910 atestiguó solemnemente haber afeitado a 605 hombres en un período de cuarenta y seis días con la misma navaja de acero al vanadio, afilada una sola vez. La proporción en que añade al acero es de 1/1.000 y una de las aleaciones más duras es la del carburo de Va, en que el C es el mismo que contiene ya el acero; otras varias aleaciones también se be-

nelician con el Van, y siempre en proporciones pequeñísimas; gracias a esta circunstancia y a la riqueza de la Mina Ragra, la reserva de este metal, calificado de estratégico por el Gobierno de los EE. UU., está asegurada; se le ha encontrado mezclado con la carnotita en Utah y Colorado. Se dió la coincidencia de que el descubrimiento peruano ocurriese al mismo tiempo que en los EE. UU. se descubrieran las propiedades de este metal, del que una libra costaba 4.760 dólares.

Por esta época presenciaba Henry Ford una carrera de automóviles en Palm Beach, Fla. y se admiraba de ver algunos autos extranjeros dejar atrás su modelo K, probablemente el más potente del país en aquel tiempo; con ocasión de haberse destrozado uno de estos coches franceses tan veloces, recogió el cañón de una válvula de entre los restos y se maravilló de su solidez y ligereza; por lo que la envió a Detroit, la hizo analizar y comprobó que contenía vanadio.

La principal fuente de mineral sigue siendo la mina de los Andes, que ya ha exportado por valor de unos cien millones de dólares; las llamas, que antes bajaban en sus lomos los sacos llenos, han sido sustituidas por un ferrocarril y lo mismo se ha hecho con los remotos yacimientos norteamericanos del Lejano Oeste; después de un tratamiento previo a boca de mina, se forma un ferrovandio a partes iguales de ambos componentes, fáciles de separar por fusión. El tratamiento para refinarlo es laborioso y además espectacular, porque los ingredientes empleados para ello son los mismos que se suelen emplear en pirotecnia. En los principios de su producción (1911) habían encargado a una fundición fabricar una pieza de acero al Van; se cumplió el encargo, no con mucha fe por cierto, y terminada la

operación, un obrero fué como de costumbre a quitar con un pesado martillo los residuos que habían salpicado por fuera el molde: de ordinario bastaba un par de golpes, pero esta vez no bastaron cuarenta; se llamó al capataz, hombre fornido, que intentó hacerlo por sí mismo; tras de cincuenta golpes infructuosos tuvo que renunciar y llamó al superintendente que, a su vez, picado ya en su amor propio, probó también ciento cincuenta veces. Por fin hubo que hacer lo que se debía haber hecho desde el principio: aserrar el bebedero íntegro del molde (16).

Aceros.—Como se acaba de indicar, las multiformes aleaciones del Fe con otros metales vienen a ser en cierto modo materiales nuevos, y tales ingredientes suscitan a veces problemas de abastecimiento de vital trascendencia, sobre todo en tiempo de guerra; por eso la suprema aspiración de los países poderosos es la autarquía que les independice de proveedores hostiles. Tal fué el caso de los EE. UU., cuyo único proveedor de Mn (indispensable para quitar al acero el oxígeno y otras impurezas, como el S y el P, que lo hacen frágil, y que añadido en un 10 por 100 le comunican notable tenacidad) era precisamente la URSS.; tres soluciones se ofrecieron: pagar precios más altos a proveedores de menor envergadura, cuales eran la India y el Africa del Sur; beneficiar el mineral propio, de mucha menor riqueza, o recuperar el manganeso amontonado en los residuos de las fábricas; los tres métodos fueron empleados y, por extraño que parezca el tercero fué el más práctico; de las escorias y chatarra se obtuvo un *mineral* con un 60 por 100 de Mn, superior al que dieron las minas de Arizona, Maine, Nevada y Minnesota, ya que éstas, después de refinadas, no pasaron del 48 por 100. Solamente en las industrias de pilas

secas y fotografía moderna se consumieron en todo el país 110.000 toneladas durante el año 1950 (2).

Otra fase de la actual revolución industrial consiste en que algunos elementos, antes meros acompañantes y subordinados al acero, se han independizado de él y han pasado de la categoría de aleación a la de metal base; tal es el caso del Mo, de enorme resistencia a las altas temperaturas, que le ha hecho casi insustituible en los aviones de propulsión a chorro, a pesar del inconveniente de su fácil oxidación, que se evita con un revestimiento apropiado; y algo parecido le ocurre al tungsteno y al hafnio: éste último es un eficaz captador de neutrones y por tanto un buen moderador en las pilas atómicas (16). Precisamente para este fin el acero inoxidable, que resiste bien la corrosión, las altas temperaturas y el bombardeo de los neutrones rápidos, no sirve cuando se trata de neutrones lentos y ha habido que buscarle un sustituto, como veremos a continuación; por su especial poder refractor de neutrones es asimismo muy buscado el berilio, pese a que su extracción y refinación es laboriosa y complicada, a más de que su polvo es venenoso.

Por una especie de paradoja, el acero ha encontrado un nuevo rival en el mismo hierro de donde él procede; se trata del llamado «hierro dúctil», nuevo producto varias veces más tenaz que el Fe fundido ordinario, muy dúctil y maleable y nada frágil, que se usa ya en los aviones de propulsión a chorro (suprema aspiración de los metales superiores), así como también para piezas móviles de otras máquinas. Contiene Mg y su resistencia al calor es semejante a la del acero, con la ventaja de poder moldearse muy fácilmente; su resistencia a la tracción varía entre los 4.220 y los 14.060 kg./cm.² y puede distenderse hasta un 25 por 100

de su longitud antes de romperse; es difícil de oxidar, impermeable a las altas presiones y de elaboración sencilla; puede soldarse como si fuera Fe gris (14).

La producción mundial de acero en 1950 resultó ser de 78 kilogramos por habitante, casi 11 más que en 1947; para los EE. UU. esta cifra sube a 578, porque ellos solos, con un 6 por 100 de la población mundial, producen casi la mitad del acero; las cuotas correspondientes en este sentido a otros países son: Bélgica = 435; Gran Bretaña = 327; Canadá = 221; Francia = 204; URSS = 125; Japón = 53, y Alemania Occidental = 251 (11).

Cobalto.—Como elemento conocido en química ha figurado en los libros durante dos siglos, pero como ingrediente desconocido para algunos usos de cerámica su edad se remonta a unos cuatro mil años; en los últimos veinticuatro, alguna que otra industria solamente lo había utilizado; pero hoy su fortuna ha cambiado fabulosamente. En 1951 su consumo en los EE. UU. se reducía a mil toneladas anuales; a principios de 1951 pasó a primera línea en el mercado de los metales y además el Gobierno monopolizó su uso, mientras se gastaban millones en promover y activar su producción desde Idaho hasta el Marruecos francés, a fin de proveer al consumo anual, ya entonces de 6.500 toneladas; hoy es un factor vital en la vida de este país: metalurgia, numerosas industrias, tratamiento del cáncer, problemas de la nutrición y... bomba de hidrógeno son los capítulos de su nueva historia.

Las últimas apreciaciones mineralógicas lo colocan muy bajo en la lista de elementos de la corteza terrestre, de la que según ellas constituye el 0,00001 por 100; se une fácilmente (demasiado, en sentir de los metalúrgicos) con multitud de cuerpos: Cu, Ag, Fe, Ni, Pb, Zn, As..., lo que

dificulta mucho su tratamiento; la aleación del Co con el Cr y el W (estelita), aún puesta al rojo, es más dura que el acero y en su fabricación se empleó en 1943 la mitad de las existencias norteamericanas; los mejores imanes permanentes para radar, altavoces y televisión lo tienen como elemento esencial: los últimos fabricados por la General Electric, de Co y Pt, resultaron 24 veces más potentes que los anteriores de Co, Al y Ni (Alnico 5). En medicina las «bombas de cobalto» se fabrican en serie y prestan inestimables servicios: el isótopo radiactivo Co 60 se obtiene del normal (Co 59) en la pila atómica, y sustituye a una instalación de rayos X de un millón de voltios, así como al Ra en el tratamiento del cáncer, con la ventaja de que, además de un precio mil veces menor y un semiperíodo de 5,3 años, su radiación *gamma* es más constante, su radiación nociva *beta* es menor y no requiere para su aplicación agujas de oro o platino, sino que bastan las de acero inoxidable, Al y hasta materias plásticas, accesibles a regiones del cuerpo humano a donde no sería posible llevar el Ra y que se adaptan mejor doblándolas o curvándolas; si se rompen, el Co no se aloja definitivamente en los tejidos, como lo hace el Ra, que puede causar así daños irreparables; las empleadas hasta 1951 contenían un 45 por 100 de Co y el resto de Ni, y medían un milímetro de grueso y seis de largo.

Aunque la mayor parte del mineral procede del Congo belga, donde abunda, se procura extraerlo de otras minas donde aparece mezclado con diversos metales, porque al ser éstos beneficiados, se facilita económicamente la obtención del Co de sus residuos. De todos modos, lo arduo de su producción justifica el nombre que se le ha dado, derivado del nórdico «kobold», gnomo subterráneo que hacía difícil la vida a los mineros.

El verdadero enigma del Co está en su misteriosa participación en la bomba de hidrógeno; los rumores tienden a considerarlo en ella como una envoltura, que al estallar la bomba y emitir *toneladas* de neutrones, se hace toda radiactiva, y al pulverizarse puede llevar la muerte a toda la Tierra, para lo cual es, sin duda, el Co el elemento más apropiado; le sigue en aptitud el Zn. Según J. Arnold, de la Universidad de Chicago, 60 toneladas de Co dispuestas en esa forma, recibirían el impacto útil de una tonelada de neutrones y sus efectos mortíferos, en figura de contaminación atmosférica, sería suficiente, atendida la circulación del aire y la larga duración de su semiperíodo, para afectar solamente a una generación (*directamente*, añadimos nosotros; porque las consecuencias genéticas serían mucho más duraderas); para destruir toda la vida terrestre harían falta unas 10.000 toneladas y se requerirían no pocas circunstancias en cuanto al modo de emplearse. Hoy nadie sabe si semejante bomba llegará o no a fabricarse (8).

Circonio.—Se le ha comparado a la «Bella durmiente» del cuento, que después de largos años de estar olvidado de todos, ha despertado a nueva vida y en los tres primeros del presente decenio se ha progresado más en su estudio que durante toda la generación anterior en el del hierro y acero; hoy se equipara en importancia al uranio y su investigación sería empezó en 1948, cuando el capitán H. G. Rickover, previendo que la Armada norteamericana lo necesitaría, logró que ésta apoyara el proyecto de procurar la simplificación de su metalurgia, hasta entonces difícilísima, a pesar de que es más abundante que el Ni, Cu, Pb y Zn; y cuando se supo que para el primer submarino atómico hacían falta planchas de Zr de un milímetro, al precio de 500 dólares el kilogramo, la Westinghouse resolvió atacar

de frente el problema práctico-económico: en catorce semanas estuvo resuelto y una fábrica de Zr puro logró elevar la producción nacional desde algunos centenares hasta varios millares de kilogramos *al mes*, con un grado de pureza de 99,9 por 100; uno de los métodos de refinación consiste en llevar la esponja de Zr a un depósito donde hay yoduro del mismo metal, cuya tapa lleva suspendidos filamentos muy delgados de Zr, por los que hace pasar una corriente eléctrica y al vaporizarse el yoduro se deposita en ellos el Zr puro; el yodo libre se va al fondo y regenera el yoduro a expensas de la esponja. El proceso se repite hasta obtener a modo de barras cristalinas de más de un metro, que luego son fundidas en lingotes. Posteriormente se consiguió simplificar aún más este procedimiento y se puede decir que ya es el metal barato y abundante que se necesitaba (30 dólares el kilogramo en 1953), a pesar de sus propiedades adversas, que exigen atmósfera de helio en los hornos, por su gran afinidad con el oxígeno y con casi todos los materiales refractarios, siendo así que las operaciones han de hacerse a muy elevadas temperaturas; las llaves de paso en ellos se hacen de oro, por resultar eso lo más *barato* y apropiado, por su blandura, al cierre hermético que necesitan (13).

El circonio, una vez separado de su compañero habitual, el hafnio, posee una excelente sección de captura de neutrones (*neutron capture cross section*) o afinidad nuclear para asimilarlos, en vez de dejarlos pasar o rechazarlos, en lo cual vence al acero inoxidable y le ha suplantado en no pocos usos de la industria atómica (16); un obstáculo especial durante su tratamiento es que si una limadura o astilla se incendia por el roce, cosa que ocurre fácilmente, para apagarlo, el agua no sólo es inútil, sino contraprodu-

cente: su oxígeno se combina con el metal y arde más vivamente, con la agravante de que incendia también al hidrógeno así liberado y origina una explosión. Su demanda es muy grande para construcciones navales, por su gran resistencia a la acción del agua, aún a elevadas temperaturas (13).

Neptunio.—Por primera vez se encontraron vestigios de un elemento transuránico en estado natural al hallarse el Np 237 en la pechblenda africana del Congo belga, cumpliéndose así la predicción del Dr. G. T. Seaborg, químico de la Universidad de California y Premio Nóbel; se aislaron solamente $85,05 \cdot 10^{-10}$ g., de modo que por ahora habrá que seguir usando el que se fabrica artificialmente en los ciclotrones y pilas atómicas. Los doctores E. M. McMillan (partícipe con Seaborg en el mismo Premio Nóbel) y P. H. Abelson obtuvieron en 1940 el isótopo Np 239; dos años más tarde fué descubierto el Np 237 en la misma Universidad; su semiperíodo es de 2,25 millones de años (12).

BIBLIOGRAFÍA

- (1) BARTISTA (O. A.): *Sodium: temperamental metal*. «Sc. Digest», v. 8, págs. 66-71, septiembre (1955).
- (2) *Manganese muscles for steel*. «Commerce», junio (1951).
- (3) CRETCHELL (L.): *Titanium: toughener of steel*. «Steelways», noviembre (1952).
- (4) KESNER (J. B.): *Super-pure metals*. «Sc. Digest», v. 9, págs. 18-22, septiembre (1955).
- (5) LEDER (F.): *New tricks with strange metals*. «Sc. Digest», v. 1, págs. 79-83, enero (1952).
- (6) LESSING (L. P.): *Pure metals*. «Sc. American», v. 191, núm. 1, págs. 36-40, julio (1954).
- (7) McLELLROY (W. D.): *Trace elements*. *Ibid.*, v. 188, núm. 1, págs. 22-25, enero (1953).
- (8) MAXX (G.): *Cobalt: Cinderella metal*. «Sc. Digest», v. 9, págs. 61-65, septiembre (1951).

- (9) PERRUCHE (L.): *Progrès de la métallurgie du titane*. «La Nature», año 83, núm. 2243, pág. 281, julio (1955).
- (10) REINFELD (F.): *Lithium... lightest metal*. «Uranium and other miracle metals», N-Y (1955).
- (11) *Your share of the steel*. «Sc. Dig.», septiembre (1951).
- (12) *Natural neptunium found in African ore*. «Sc. Dig.», enero (1953).
- (13) *Zirconium... Sleeping Beauty of metals*. «Sc. Dig.», agosto (1953).
- (14) *Cast iron that won't crack*. «Sc. Dig.», julio (1954).
- (15) SMITH (L. W.): *Titanium is no wonder metal*. «Research Trends», diciembre (1954).
- (16) *Metals for tomorrow*. «Steelways», febrero (1955).
- (17) STIMSON, JR. (TH.): *Titanium... toughest of light metals*. «Popular Mechanics», enero (1953).

Octubre 1956

Cronología de las orogénesis y naturaleza de la escala de los tiempos geológicos

POR 550.93:551.40

EDMUND M. SPIEKER
Columbus, Ohio

EDMUND M. SPIEKER (1)

CRONOLOGIA DE LAS OROGENESIS Y NATURALEZA DE LA ESCALA DE LOS TIEMPOS GEOLOGICOS (2)

NOTA INTRODUCTORIA DEL TRADUCTOR

Inicio con este trabajo una nueva serie de traducciones de artículos que exponen orientaciones modernas del pensamiento geológico en cuestiones trascendentes. La labor de traducción es muy ingrata; mecánicamente muy pesada, no puede mover a ella otro interés que el de servir a los demás. A este respecto, podría hacer también mías las palabras citadas por Spieker al final de su trabajo y enunciadas por Sir William Ramsay: «Algún sabio ha dicho que la mayor alegría de la vida estaba en descubrir algo nuevo. Hay otra alegría igualmente grande, la de dar a conocer los resultados de una investigación a otros hombres de ciencia». Ninguna otra ilusión o estímulo puede mover a llevar a cabo traducciones de este tipo.

Es importante advertir que el orden de publicación y ordenación de estas y otras futuras traducciones no obedece a criterio discriminatorio, preferencia o estimación de mayor interés. Se debe a circunstancias puramente accidentales.

Como criterio de elección he sustentado, en primer lugar, su interés.

(1) Departamento de Geología de la Universidad del Estado de Ohio.

(2) Versión directa al español por J. M. Ríos, profesor de Geología en la Escuela de Minas. Este artículo apareció, en su versión original en lengua inglesa, en el *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, núm. 8, vol. 40 de 1956, y se publica aquí, en versión castellana, gracias a la amable y expresa autorización, ambos, del autor, E. M. Spieker, y del director de publicaciones de la A. A. of P. G.

Después el hecho de la dificultad de acceso al original, bien porque el idioma original sea poco conocido entre nosotros, bien porque la publicación de origen sea de poca difusión en nuestro país. Por esta razón, será poco frecuente encontrar entre estas traducciones las del idioma francés, tan lleno, sin embargo, de cosas interesantes.

El interés del estudio de Spieker es doble. Por un lado nuestros trabajos en las cadenas de plegamiento alpino en el suelo español nos han ido enseñando que las fases preconizadas por Stille no son tan tajantes como podría deducirse de su expresión original, sino que se reparten en pulsaciones, que incluso nos parecen desordenadas, a lo largo de períodos de tiempo más amplios. Así lo hemos expresado repetidamente en diversos trabajos, y con más convicción cuando éstos han sido más recientes y se basaban en mayor cúmulo de observaciones. Puede que alguna vez lleguemos a coincidir con la posición extrema de Spieker y puede que no, pero es de sumo interés darla a conocer en cualquier caso.

Pero aún estimo de mayor interés dar a conocer un trabajo de profunda crítica, incluso autocrítica, geológica. En esto sí que he insistido, y seguiré insistiendo, con pasión, en todas ocasiones. Creo que es una necesidad fundamental para la vitalidad y desarrollo recto de la ciencia geológica. Es preciso analizar, sopesar, contrastar continuamente con los hechos, todos los principios geológicos, incluso los más solemnemente aceptados y de más continuo uso. Quizá esta convicción es la que me ha movido a imponerme voluntariamente la tarea de traducir tan largo trabajo, a pesar de los múltiples quebraceros que me impone mi profesión como docente y como geólogo de campo y empresa. Si la crítica es sincera, objetiva e imparcial, nunca se hará uso con exceso de ella. Pero demos la palabra a Spieker.

J. M. Ríos

P R E A M B U L O (3)

En esta comunicación me gustaría intentar tres cosas: primero, discutir ciertos aspectos de principio general en la cuestión de determinación e interpretación de fechas orogénicas; segundo, pasar revista a algunos hechos críticos, re-

(3) Este artículo expone la sustancia de una conferencia auspiciada por el Comité de Conferenciantes Distinguidos de la Asociación en noviembre-diciembre de 1950 y enero-febrero de 1952, y aparece escrito ahora en forma aproximada al lenguaje oral de entonces (excepto en su parte media, como se explicará más adelante), sin el peso de la documentación completa.

Debo aprovechar esta ocasión para expresar mi gratitud a los mu-

ferentes a esta materia, que han sido observados en la zona de transición entre las Mesas del Colorado (Colorado Plateaus) y la Gran Cuenca de Utah (Great Basin in Utah); y tercero, ofrecer algunas pocas observaciones acerca de la naturaleza básica de la escala de tiempos, a la que referimos estos y otros sucesos de la historia de la Tierra.

Antes de atacar la materia propiamente dicha, permítanme que llame la atención acerca de una cuestión que indudablemente pesa en algunas mentes. ¿Cuál es la importancia eficaz de estas materias para el geólogo práctico? Como elementos esenciales en la Geología histórica son, sin duda alguna, de importancia suprema para el estudiante general de la materia: el así llamado geólogo académico. Pero, ¿qué importancia tiene para la práctica diaria del geólogo empeñado en tareas industriales y prácticas? ¿Qué diferencia supone para la busca de petróleo o metales en los problemas de ingeniería o en la geología del agua subterránea, o incluso en los de geología areal de objetivos poco especificados, el que un movimiento orogénico tuviera lugar en el Permiano medio o al final de los tiempos triásicos, o bien que dibujemos el límite entre el Jurásico y el Cretáceo en uno u otro horizonte, o que llamemos a ciertos lechos Cambrianos u Ordovicianos? Las contestaciones correctas a tales preguntas satisfarían, desde luego, la curiosidad del intelectual; pero ¿de qué valor son para nuestra concepción práctica de la

chos geólogos que, en las distintas sesiones, contribuyeron a completar mi propia exposición de la materia con sus preguntas y discusiones. Desgraciadamente no tomé nota de estas valiosas aportaciones y, en el curso de las sesiones más concurridas, fui incapaz, incluso esforzándome, de identificar a algunos de los participantes en la discusión. Mejor que aparentar criterio discriminante, al mencionar a aquellos que reconocí y recuerdo, parece más prudente manifestar mi reconocimiento en la forma, manifiestamente poco satisfactoria, de un agradecimiento conjunto. Debo, sin embargo, expresarlo, en forma especial, a J. Osborn Fuller por su revisión crítica del manuscrito, mediante la cual ha sido posible eliminar varias equivocaciones con respecto a su versión original.

naturaleza real de los cuerpos rocosos que son objeto de nuestros trabajos?

En primera apreciación, podría parecer que no albergan valer alguno o que tienen muy poco interés. Parecería que podríamos alcanzar nuestros objetivos en la cartografía de áreas, correlación de estratos y determinación de estructuras, en una palabra, que podríamos cumplir todos los fines, que se refieren tanto a las aplicaciones prácticas de nuestra ciencia, como a la mera obtención de la geología física de una determinada región, sin preocuparnos acerca de estas cuestiones, aparentemente académicas. Bajo un punto de vista muy limitado, incluso digamos que con una visión miope, tal conclusión podría parecer prácticamente válida, pero a lo largo resulta seriamente falaz. Y no solamente a largo plazo, sino que en la práctica diaria, en el trabajo inmediatamente práctico de cualquier geólogo, cualquiera que sean sus objetivos, tal actitud es sumamente precaria, porque el conjunto de conceptos mentales con que se acerca a su trabajo determinará realmente la naturaleza de los hechos, supuestamente imparciales, que reseña. El esquema de conceptos y la manera de pensar que de él resulta, y que el geólogo aporta subconscientemente a sus observaciones, lo mismo en el campo que en el despacho o en el laboratorio, inevitablemente dirigirán los datos que obtiene, bien por selección, bien por discernimiento espontáneo.

Por importante que sea este principio, apenas podemos desarrollarlo aquí; pero, por otra parte, no deberíamos abandonarlo sin dedicarle, por lo menos, un mínimo de aclaración. El material del que derivamos nuestros hechos geológicos es tan complejo y de tan difícil aprehensión precisa, que resulta posible comprobar a veces, por ejemplo, cómo dos o tres geólogos permanecen delante del mismo afloramiento e insisten en conclusiones diametralmente opuestas con respecto a qué es el hecho real que están observando. No hay dos estratígrafos que estudien el mismo corte y puedan ofrecernos la misma expresión factual. Los paleon-

tólogos y los petrólogos preponden a deformar, si bien sea muy ligeramente (y a menudo no tan ligeramente) las cosas que ven hasta llegar a algo que encaja más cómodamente dentro del esquema conceptual en el que se desenvuelven familiarmente. Se ha dicho más de una vez, y con más de un grano de verdad, que en Geología se pueden encontrar hechos para apoyar casi cualquier teoría. Debemos seleccionar; nunca podemos ver todo, podemos ver equivocadamente y propendemos a ver lo que estamos predispuestos a ver. E inversamente, con mucha frecuencia, no acertamos a ver las cosas críticas que no se adaptan a nuestro modelo prevalente de ideas. Por consiguiente, nuestra manera de pensar acerca de los fenómenos geológicos es de enorme importancia, porque, tomando prestada una expresión de la terminología técnica moderna, en el mecanismo de alimentación continua de nuestra operación mental de científicos, las teorías que firmamos reaccionan de hecho sobre sus fuentes de conocimiento, y el concepto resultante puede asemejarse a la aceleración familiar en los fenómenos electrónicos que aquí invocamos metafóricamente. Y además, como la ciencia electrónica, si la ganancia o multiplicación de potencia se verifica en la dirección correcta, magnífico; pero si no, malo, y posiblemente desastroso. Ningún geólogo práctico puede permitirse, por consiguiente, el lujo de adoptar una postura despreocupada en su mecanismo mental acerca de cosas tales como la determinación de las épocas orogénicas o la naturaleza y aplicación de la escala de tiempos geológicos.

Otro asunto, de índole completamente distinta, que deberíamos mencionar en este preámbulo, aunque fuera por un momento, es la cuestión, verdaderamente enojosa, de la distinción entre orogénesis y epirogénesis (especialmente en lo referente a las estructuras que se suponen originadas por cada uno de estos procesos) y el enigma, muy íntimamente relacionado con aquélla, realmente congenérico, de qué es lo que verdaderamente produce sistemas plegados. Dispo-

ción estructuradora de montañas es una cosa, y cadena montañosa otra muy distinta. ¿Es que el plegamiento produce montañas, admitido que no sea exigencia forzosa, o produce levantamientos en masa, suponiendo que sea capaz de hacerlo? ¿Cuál es la relación genética que existe en los cinturones orogénicos entre las estructuras de plegamiento y cabalgamiento y las diversas estructuras que implican fallas normales de gran ángulo? De tanto en tanto, los geólogos han pensado que tenían respuestas a estas preguntas, y a pesar de una moderada variedad de opinión con respecto a esas materias, la mayor parte de nosotros hemos funcionado probablemente, y en lo principal, de acuerdo con los términos de una secuencia bastante neta compuesta de las siguientes fases: Sedimentación geosinclinal, plegamiento compresivo, cabalgamientos, distensión y levantamiento, acompañado por la formación de fallas normales. Partes de este ciclo, o el ciclo entero, podrían repetirse, y así resulta el ciclo orogénico (o de formación de sistemas de plegamiento). Menciono estos problemas aquí porque muchos de los hechos argumentales que me son familiares, lo mismo de primera que de segunda mano, y de algunos de los cuales haré uso más adelante, suscitan problemas que atañen al sencillo y ortodoxo esquema antes descrito y me dejan en mayor confusión que nunca acerca de este asunto (y ciertamente más que cuando era estudiante y me acababa de graduar); y no habrá tiempo de volver sobre esta cuestión cuando examinemos los hechos argumentales a lo largo de esta exposición. Con esta sugerencia preliminar en la mente, aquellos que se sientan inclinados a ello encontrarán gran cantidad de materia para meditación en algunas de las situaciones que se ilustran más adelante.

UBICACION DE LAS OROGENESIS EN EL TIEMPO

Pasemos ahora al objeto propiamente dicho de nuestra exposición. El conocimiento de las épocas en las que han

tenido lugar las formaciones de sistemas de plegamiento es importante, no sólo inherentemente, por su propia sustancia, como elementos intrínsecos que son de la historia de la Tierra, (así como por las razones que se acaban de discutir), sino también por la aportación vital con que contribuye a nuestra comprensión de la totalidad del proceso orogénico. No podemos abrigar la esperanza de comprender plenamente el mecanismo de formación de los sistemas plegados si no llegamos a un conocimiento, tan exacto como sea posible, del orden de sucesión correlativo entre los movimientos que han afectado la Tierra; y el significado completo del proceso no se aclarará del todo hasta que los acontecimientos involucrados en su desarrollo no se sitúen correctamente en la escala de tiempos, y no se relacionen de este modo con otros acontecimientos de la geología histórica.

Desgraciadamente, el discernimiento de las fechas orogénicas es notoriamente difícil, y es mejor que nos enfrentemos cuanto antes con el hecho desagradable de que, para la mayor parte de los sistemas de plegamiento de la Tierra, no sabemos con la suficiente exactitud cuándo tuvieron lugar los movimientos críticos. Como consecuencia, nos enfrentamos con una plétera de interrogantes. ¿Es que los movimientos han sido episódicos, como probablemente piensan la mayor parte de los geólogos actuales, siguiendo a Stille y a Bucher, o bien, como sugieren otros, entre ellos Shepard y Gilluly, han sido continuos a lo largo de prolongados períodos de los tiempos geológicos? Si son continuos, ¿es que han prevalecido a lo largo de toda la época geosinclinal del proceso o únicamente en parte de ella? Y en este caso, ¿en qué parte? Y si han sido episódicos, ¿Es que las pulsaciones individuales han sido cortas, separadas por largos períodos de calma, o prolongadas y separadas por largos períodos de calma, o quizá ha habido otras combinaciones posibles en la repartición de calma y trastorno? De nuevo, si episódicos, ¿es que los episodios han sido perió-

dicos, quizá incluso cíclicos, o irregulares a lo largo del tiempo? Suscitando una cuestión recientemente preeminente en las mentes de los geólogos, ¿es que los movimientos orogénicos han sido simultáneos en amplios sectores de la Tierra, cuando no globalmente, como afirma Stille con insistencia, o es que han sido regionalmente independientes? ¿Habrá habido períodos no orogénicos, como algunos geólogos opinan que ocurrió con el Cambriano y el Triásico? ¿Qué diremos de los efectos de la orogenia sobre la geografía continental y regional? ¿Habrá ejercido una influencia importante en la evolución de la vida? ¿Habrá habido grandes períodos críticos, tanto para la Tierra física como para sus habitantes vivos? La lista de interrogantes podría ser aumentada considerablemente; mas desisto, pero no sin mencionar aún otra: ¿Han tenido lugar grandes revoluciones?

La respuesta a la sencilla pregunta de ¿cuándo?, probablemente solucionaría automáticamente la mayor parte de estos problemas. Desde luego es cierto que tenemos, al menos, respuestas parciales para algunos de ellos. Sabemos por ejemplo, con referencia a algunos sistemas montañosos, que no tuvo lugar ninguna gran revolución cuando ocurrió la orogénesis. Para la mayor parte, sin embargo, sencillamente no tenemos respuesta y debemos reconocer que es mucho más saludable enfrentarnos francamente con este hecho desagradable, y comportarnos de acuerdo, que no seguirnos ocupando de nuestros asuntos con un falso aire científico, aceptando con calma el engaño de que conocemos tales respuestas.

Esta recomendación, desde luego, no debe ser tomada como una confesión de impotencia. Una de las glorias de la ciencia ha sido siempre el que hombres de visión han sido generalmente capaces de superar, más pronto o más tarde, los problemas más espinosos, y podemos mirar con confianza a un futuro en el cual tendremos una comprensión mucho mayor de algunos problemas, irritantemente inciertos

en la actualidad. No lo lograremos, sin embargo, si seguimos aceptando dogmas indemostrados como base de nuestra conducta como científicos.

Diversas regiones de Norteamérica, California, la Gran Cuenca, las márgenes de las Mesas del Colorado, el Wyoming occidental, y eso mencionando solamente unas pocas entre todas, e incluso los clásicos distritos de las Appalachies, nos han proporcionado datos de observación, en los años recientes, que comienzan a arrojar luz sobre muchos de estos problemas e incluso suministran respuestas para algunos. Me gustaría discutir aquí algunos de estos testimonios e intentar evaluarlos, pero antes de hacerlo hay que llamar la atención acerca de un aspecto humano de la situación, que habremos de mantener muy claramente presente en nuestra mente.

Muchos de ustedes recordarán que cuando Gilluly, en su discurso presidencial ante la Sociedad Geológica de América (noviembre de 1948) manifestó con firmeza la sugerencia de que la orogénesis pudiera haber sido continua, desató un verdadero clamor en la audiencia y no pasó mucho tiempo antes de que se imprimiesen intensas protestas. No nos gusta cambiar nuestras opiniones; resistimos con todas nuestras fuerzas a toda alteración de nuestras opiniones favoritas y de nuestros modos habituales de pensamiento. Me pareció evidente a mí, uno de los «muy respetables escépticos» mencionados por Gilluly, que los atrevidos individuos que se alzaron contra él no estaban tan interesados en el examen desapasionado de sus testimonios como en apoyar ideas que habían formado parte básica del trabajo de toda su vida. La oposición conservadora es valiosa, e incluso es esencial mientras implica en sí misma, y exige de la parte contraria, el examen crítico de los hechos, pero todo a lo largo de la historia de la ciencia ha constituido uno de los obstáculos más viciosos al progreso, cuando ha servido meramente para consolidar la complacencia en ideas a las que nos hemos habituado confortablemente.

Con estas consideraciones en nuestra mente examinemos ahora alguno de los hechos en cuestión. Los tipos de testimonios de que disponemos actualmente para la determinación de las épocas orogénicas se han enumerado en el siguiente cuadro, cuyo orden sigue aproximadamente el de su eficacia actual.

Hechos de observación que se usan como base para datar los movimientos orogénicos

I.—Factores de determinación de edad por métodos estratigráficos.

1. Evidencia física directa de movimiento.
Discordancia angular.
Disconformidad relacionada con discordancia angular.
2. Efectos en la sedimentación.
Conglomerados.
Lenguas de sedimento basto que penetran en sedimentos más finos.
Cambios pronunciados en el contenido mineral.
3. Actividad ígnea:
Intrusión relacionada con estructuras de plegamiento.

II.—Establecimiento de la edad de las rocas asociadas a las orogénesis por métodos radiactivos.

III.—Testimonio geomorfológico (valedera sólo para sistemas de plegamiento muy jóvenes).

Tendremos que restringir esta discusión a los apartados I-1 y I-2 del cuadro, y no debe ser considerada, por consiguiente, como un intento de análisis completo del problema.

El testimonio tipo, el ortodoxo y, deberíamos reconocer-

lo, la única clase definitiva de testimonio de que disponemos por ahora para datar los movimientos orogénicos, es la discordancia angular. Para ser completamente explícitos descenderemos a los elementos básicos de la cuestión: Dondequiera que encontramos la disposición estructural que se representa en la fig. 1, sabemos que entre la época a que corresponde la unidad estratigráfica A y la que corresponde a la unidad estratigráfica B, ha habido plegamiento y erosión siguiente. (De ahora en adelante nos referiremos a

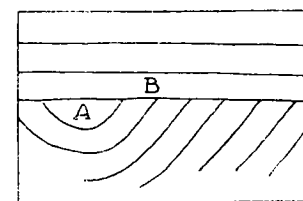


Fig. 1.—Discordancia angular.

las unidades que se encuentren en la disposición relativa de A y B, con la designación de capas limítrofes.) Apenas podemos escapar aquí al hecho elemental de que si podemos demostrar que el contacto entre las dos unidades es de carácter sedimentario, no hay actualmente otra manera, o que podamos concebir por ahora, según la cual pudiera formarse esa estructura. Incluso si el contacto mostrase, como ocurre en algunos casos, testimonio de cabalgamiento, todavía podría constituir prueba cronológica de plegamiento entre las épocas de A y de B, pero este aspecto exige forzosamente complicaciones que no podemos analizar aquí.

Desgraciadamente, en las regiones montañosas, donde las necesitamos de manera vital, son raras las discordancias angulares. Pero, peor todavía, donde las encontramos, son generalmente inexactas; las edades de las capas limítrofes están demasiado distantes. Su rareza manifiestamente deplorable se explica, sin embargo, fácilmente, dentro del campo de los conocimientos actuales. Se originaron por

lo general en los ámbitos marginales de la faja de montañas en proceso de emergencia, precisamente en la localización en que serían más fácilmente destruidas por la erosión subsiguiente. Esto es especialmente verdadero en el caso de aquellas discordancias cuyas capas limítrofes están muy próximas en edad, que son precisamente las que más imperantemente necesitamos. Su inexactitud corriente, que es evidentemente de índole inherente, es otro de los puntos que tenemos que tomar en consideración; pero antes de pasar a este terreno, hay otras características de la discordancia angular que deben ser examinadas.

La primera, ya hace algún tiempo reconocida por geólogos rusos (Popov, 1937; Schatsky, 1937), es que la discordancia angular no es prueba inherente de un episodio de plegamiento. Puede registrar sencillamente una especie de instantánea, como un recuadro de una película cinematográfica que capta una fase, o momento, de un proceso esencialmente continuo. Muy bien podría haberse formado en una zona de plegamiento persistente en que un área se levantó, fué erosionada, luego se deprimió y fué cubierta después por sedimentos, mientras que el movimiento compresivo se mantenía a lo largo de todo este tiempo. Pero, bajo tales circunstancias, las discordancias angulares mismas tendrían que resultar plegadas gradualmente, y es bien sabido que las que observamos están casi siempre horizontales o muy cerca de la horizontal; si las discordancias angulares en sí son raras, las deformadas son todavía mucho más escasas. Se encuentran algunas, como veremos más adelante, pero son lo suficientemente poco frecuentes como para que constituyan objeto de extraordinario interés cuando se las encuentra. Sin embargo, pueden haber sido bastante más abundantes que lo que se suele pensar. Por un lado el plegamiento subsiguiente tenderá a destruirlas; algunos geólogos insisten en que el plegamiento intenso necesariamente ha de borrar el testimonio crítico. Esto es sin duda verdad en gran medida, como puede comprobar cualquiera

que intente una especie de reconstrucción, a lo Walt Disney, en el diagrama de una discordancia angular, si guarda debida consideración tanto con respecto al rigor geométrico como a los principios mecánicos de la deformación de las rocas. Pero es improbable que un movimiento posterior borre, siempre, toda huella de tal discordancia. El que todas las discordancias angulares hayan resultado bastamente enmascaradas por el movimiento subsiguiente es, expresándolo de una manera moderada, una posibilidad que ha de ser seriamente tomada en consideración; y algunas, especialmente las de ángulo moderado, pueden ciertamente haber quedado desfiguradas del todo. Pero en muchos casos los restos pueden ser todavía discernibles; es éste un objetivo de observación que los geólogos que trabajan en regiones de plegamiento apenas pueden permitirse el lujo de omitir. Todos nosotros hemos visto en tales clases de terreno lo que hemos denominado plegamientos de desgarre interno (internal shearing or folds). ¿Cuántos de estos fenómenos no podrían haber sido verdaderamente discordancias angulares? Hay campo aquí para la investigación, incluso en nuestros distritos de montaña clásicos y mejor conocidos.

¿En qué grado, entonces, podrían las discordancias angulares, horizontales o ligeramente inclinadas comúnmente conocidas, representar meramente las últimas fases del plegamiento que las ha afectado? O, en versión ligeramente distinta, ¿nos atreveremos a aceptar que incluso las discordancias horizontales, bien definidas y exactamente datadas que encontramos representan, en efecto, la época de todos los plegamientos que dieron lugar a los sistemas plegados en que aparecen involucradas? Estas cuestiones exigen en el campo atención intensa y bien enfocada. No sólo en la literatura; esta manera de proceder es, a menudo, infructuosa. Los geólogos que recogieron los datos que luego aparecen impresos, a menos que tuvieran consciencia de las materias que discutimos aquí, podrían muy bien haber

fallado en la observación o, por lo menos, meramente, en la anotación de las circunstancias críticas.

Por ahora podemos deducir con seguridad que una discordancia angular no es prueba necesaria de un episodio orogénico, ni registra forzosamente la época de todos los movimientos que contribuyeron a formar la estructura plegada a la que aparece ligada.

Otra cosa merece citarse acerca de esta posibilidad general: si los pliegues creciesen continuamente en la banda de sedimentación geosinclinal, los cortes stratigráficos deberían arrojar espesores más grandes en los sinclinales y ser menos potentes en los anticlinales. Este fenómeno se ha observado realmente en algunas cuencas sedimentarias deformadas, pero sería de difícil determinación en los sistemas de intenso plegamiento. Es ciertamente un hecho para cuya observación debería estar siempre alerta el geólogo de campo, porque incluso cuando existe y resulta determinable, podría pasar fácilmente inadvertido, a menos que se prevean algunas medidas especiales y poco corrientes. Aquí tenemos un caso bien neto del modo en que un hecho de observación puede ser controlado por nuestro sistema de ideas rectoras.

Volviendo a la cuestión, algo más importante (por lo menos en la práctica corriente), de inexactitud, por excesiva diferencia entre las edades de las capas limítrofes, nos encontramos con una tendencia casi tradicional a datar los movimientos en cuestión, refiriéndolos al más importante de entre los jalones de la escala de tiempos que viene a caer en el intervalo de referencia. La práctica de este tipo de razonamiento sencillamente exige controversia. Descansa sobre una hipótesis: la hipótesis puramente gratuita, a juzgar por lo que sabemos de estas cosas, de que los movimientos orogénicos son los que han determinado los límites entre eras, períodos u otras unidades del tiempo geológico. Como más de un geólogo ha hecho notar, con referencia a problemas de este carácter general, es la hipótesis rectora

lo primero que exigiría probación. Hasta límites desconocidos, pero probablemente de importante alcance, razonamientos de esta clase han viciado nuestro concepto del pasado geológico.

Para ilustrar este punto, apenas podemos encontrar ejemplo mejor que el de los clásicos Appalachés, localidad misma de nacimiento del concepto fundamental de todo el proceso orogénico. Muy corto tiempo después de que se desarrollasen los primeros conceptos básicos surgió la idea de que el plegamiento appalache fué un acto de violencia (en retraso, según un punto de vista posterior y más moderado) que en sí mismo supuso el fin de la era paleozoica. Se aceptó que este espasmo cortical, supuestamente intenso, había causado, por su avasalladora influencia física, un cambio radical en el mundo viviente entre el Permiano y el Triásico. Más tarde, conforme las informaciones procedentes de Europa, comenzaron a mostrar de manera convincente que los movimientos habían tenido lugar allí antes del final del Paleozoico, los geólogos americanos empezaron a ceder de su primera posición y a decir que la revolución appalache tuvo lugar en el Permiano. ¿Por qué?

Examinemos los elementos de juicio: la fig. 2, un esquema elemental de los contornos del estado de Pensilvania, muestra los hechos pertinentes. La única discordancia angular hasta ahora descubierta que pueda ser aplicada para la resolución de la edad del plegamiento a finales del Paleozoico está indicada en este diagrama por la señal X. Aquí, en el distrito de Cornwall, lechos de edad Newark (al parecer, aunque podría discutirse) yacen sobre calizas del Ordovicense mediante discordancia angular muy neta. La pizarra de Martinsburg, de finales del Ordovicense, continúa al N., en concordancia bastante evidente con respecto a las calizas, aunque no en contacto con el Newark. Todo lo que podemos decir, con este elemento de juicio, es que el plegamiento acaeció en alguna época entre finales del Ordovicense y finales del Triás. La edad de los lechos de Ne-

wark, que durante tanto tiempo fué objeto de discusión, parece que ha sido bastante bien determinada recientemente, por lo menos en la medida en que pueden afirmarlo hasta ahora los paleontólogos, como Triásico superior, y si estos lechos próximos al Cornwall corresponden realmente al Newark, el límite superior queda probablemente fijado.

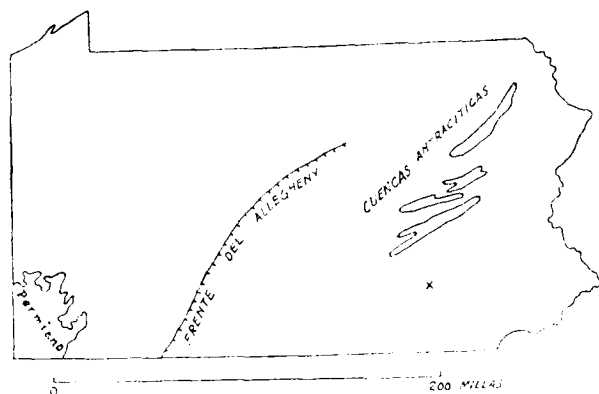


Fig. 2.—Mapa de contornos de Pennsylvania, que muestra las ubicaciones de los hechos pertinentes al datado de la orogénesis Appalache.

Los lechos permianos más próximos (y aun estos mismos son de edad dudosa, según juzgan los paleobotánicos de la generación presente, que los estiman más probablemente pennsylvanienses que permianos) están muy adentrados en la Mesa de los Alleghenys, casi a 200 millas. ¿Cómo podría ningún hombre de ciencia haber quedado satisfecho con la conclusión de que la leve deformación de los lechos de Dunkard, en Pennsylvania occidental, fuera originada necesariamente por el mismo movimiento que causó el intenso plegamiento del distrito de Cornwall? Es, verdaderamente, algo difícil de comprender en la actualidad. Resulta especialmente desconcertante si consideramos que los fundamentos racionales de la ciencia general, consolidada sobre los cimientos establecidos por Galileo, Bacon, Newton, Huygens y otros avanzados del siglo XVIII ha-

bían sido cuidadosamente analizados ya antes de finales del siglo XIX y estaban a la vista de todos. Enfocados desde este marco de conocimientos, las conclusiones de los geólogos con respecto a materias tales como la edad de los plegamientos Appalaches resultan muy anacrónicas. En cualquier caso, tanto espacial como estructuralmente, las suaves ondulaciones de los estratos de la Mesa de Allegheny están excesivamente alejadas de la intensa deformación de los Appalaches orientales, y aparte del factor común de que ubican en la misma provincia orográfica general de Norteamérica, la única base para deducir que ambas deformaciones fueron producidas por el mismo movimiento es, después de todo, la hipótesis de que lo fueron. Desde luego que todos comprendemos con probabilidad que la conclusión resultó, verdaderamente, de una trayectoria de razonamiento aparentemente real y sencilla; si pensamos que el proceso orogénico a que nos referimos estaba dominado por un único y gran empuje cortical procedente del E., entonces resultaría perfectamente normal que los pliegues originados se extinguieran hacia el O. y, en tal orden de ideas, la flexión de los lechos de Pennsylvania occidental podría fácilmente haber sido producida por un solo movimiento maestro, que fué naturalmente más eficaz hacia el E. Por muy normal y fácilmente aceptable que esto nos pueda parecer, no es, sin embargo, más que una hipótesis que debería ser probada antes de utilizarse como base de propia probación, y no constituye, por consiguiente, una piedra fundamental admisible en la construcción del edificio vávido de nuestra ciencia.

Pero, espere un poco, están ustedes pensando sin duda; aquí, a 35 millas escasas al N. del distrito de Cornwall, yace el extremo meridional del gran sinclinal de antracitas en el cual aparecen plegados los lechos del Pennsylvaniense medio. ¿Es que toda la estructura pegada a lo largo del valle de Susquehanna, desde las más viejas calizas paleozoicas hasta el hullero, no es armónica, de una sola pieza,

producida por el mismo movimiento? Parecería lógico aceptarlo así, y con los conocimientos de que actualmente disponemos aquella conclusión no puede, desde luego, ser categóricamente denegada, pero cuando tomamos en consideración algunas de las diferencias laterales en las edades de los movimientos, que evidentemente existen en la Cordillera norteamericana, nadie podría estar absolutamente seguro y merecería la pena de mantenerse muy alerta con respecto a cualquiera y a todas las clases de evidencia a este respecto.

Incluso si aceptamos la opinión ortodoxa, todavía tenemos el hueco entre el Pennsylvaniense medio y el Triásico más alto, demasiado largo como tiempo geológico para permitir adoptar una conclusión, siquiera sea aproximada, con respecto a la época de la orogenia. Podríamos invocar la teoría para dar una razón que justifique la colocación del movimiento, o bien en la primera o en la última parte del intervalo comprendido entre las capas limítrofes; pero, por lo menos en lo que mis conocimientos permiten juzgar, toda generalización de este tipo está basada actualmente en forma insuficiente, o bien equívoca. Por ejemplo, puede argüirse que hemos de aceptar el trancurso de un gran período de tiempo para dar lugar a que la erosión arrastrase los lechos plegados, y podría deducirse la consecuencia de que la época de la orogénesis debería colocarse mucho antes que la de las capas limítrofes superiores, quizá incluso en la parte más baja del intervalo a que nos referimos. Pero algunos sistemas montañosos suministran hechos que demuestran que tal teoría carece potencialmente de valor; presentaremos más adelante una situación ilustrativa, existente en la región central de Utah, para mostrar que la hipótesis referente al ritmo de la erosión se basa, por una parte, en hechos incompletos, y que, por otra parte, no es capaz de explicar complicaciones inevitables; además de que, verdaderamente, las irregularidades que nos mues-

tran los estratos se oponen a cualquier generalización de las reglas.

Y continuando con los Appalaches, si avanzamos hasta el fin y aceptamos la hipótesis, básicamente indefendible, de que la leve deformación de los estratos permianos en Pennsylvania occidental era contemporánea, con respecto al plegamiento, del distrito de Susquehanna, la situación no mejora mucho; todavía tenemos el intervalo entre el Permiano bajo y el Triásico alto, dos tercios de un período y dos tercios de otro, lo que constituye una época de respetable duración. Y, más todavía, si aplicamos estas fórmulas: ¿Por qué no en el Triásico? ¿Por qué necesariamente en el Permiano? ¿Es que tenemos algún conocimiento positivo que niegue la posibilidad de plegamiento en el Triásico bajo o medio?

La respuesta tradicional a estas últimas preguntas no hay que buscarla lejos. En Europa se ha demostrado la existencia de plegamiento en el Permiano pero no en el Triásico, y un acontecimiento tan importante como la orogénesis appalache debería ser mundial en su alcance. Además, el fin del Permiano marca la terminación de la época paleozoica, después de la cual se desarrolló un «nuevo orden», y no encaja bien, en doctrina ortodoxa, tener plegamiento intenso poco después del amanecer de una nueva era. O según otra directriz, que ha predominado realmente en muchas discusiones acerca de la materia, el gran cambio en la vida que tuvo lugar entre el Permiano y el Triásico, muestra que el gran trastorno tuvo lugar entonces, o por lo menos antes del final del Permiano. Y, finalmente, tenemos el argumento, referente a la erosión, que se ha mencionado antes; los pliegues de los Appalaches centrales quedaron arrasados antes del Triásico superior, lo que no podría haber ocurrido en tan breve tiempo como son los dos tercios primeros del período.

Todos estos argumentos están basados en hipótesis que se basan a su vez en cimientos demasiado ligeros como para

servir de sustentación a un principio rector, según se han empleado. No hay ninguna razón sólida según la cual el plegamiento no hubiera podido tener lugar en la época triásica. Por lo que se refiere al argumento paleontológico, hay dos falacias críticas: primera, el que hubiera tenido lugar un cambio tremendo en el mundo viviente (esto lo examinaremos brevemente más adelante); y segunda, que el cambio profundo en el mundo viviente está causado por, o es concomitante, con la formación de sistemas plegados. Ninguna de estas hipótesis está demostrada. La cuestión de la erosión resulta igualmente precaria, sabiendo de qué grado son las variaciones conocidas de la velocidad a que tiene lugar el fenómeno; pero es que además puede dársele la vuelta al argumento para admitir claramente la posibilidad de plegamiento triásico. Algunos sectores de nuestra Cordillera Central están siendo arrasados a la velocidad de un pie cada mil años. Esto nos sirve de medida para apreciar lo que puede ocurrir en una región montañosa. Si extrapolamos este ritmo y hacemos una concesión generosa para la marcha, más apagada, de las últimas etapas del proceso, encontramos que dos tercios del Triásico pudieran haber constituido tiempo sobrado para la cantidad de erosión aceptada. Pero ni siquiera debería tomarse seriamente tal hipótesis, como sustentación básica, en ninguna fase de la discusión.

La respuesta a la cuestión en general, entonces, tal como queda actualmente planteada, es sencilla: No sabemos cuándo tuvo lugar el plegamiento appalache, y podemos repetir sin temor que lo que debemos hacer es enfrentarnos honradamente con esta situación, y a partir de aquel hecho, ejercitando todos nuestros esfuerzos hacia su mejoría, bien por desarrollo de nuevos métodos, o más prometedoramente, con aquellos métodos de confianza que ya tenemos, mediante un reexamen crítico y sin prejuicios, y con una comprobación más intensa de la observación de los hechos en el campo. Si consideramos la tradicional impredec-

bilidad del progreso científico, muy bien pudieran resultar algunos frutos positivos de este sistema. Pero todos ellos deben estar apoyados en hechos bien establecidos, no meramente en hipótesis halagadoras.

Hasta ahora nos hemos referido únicamente, en estas observaciones, a hechos y conclusiones procedentes de Pennsylvania. Apenas podemos abandonar este asunto sin echar una mirada, por lo menos, a una hipótesis asociada, de misma génesis y de orden mayor, que se ha aceptado de manera general: la de que el plegamiento principal tuvo lugar simultáneamente en todo el cinturón appalache. No solamente no hay, acerca de esta materia, nada que se acerque siquiera al carácter de prueba, sino que cuando se examina comparativamente con arreglo a lo que se sabe de otras cadenas de montañas en otras partes del mundo, parece altamente dudoso. Desde Nueva Escocia a Alabama central, la parte conocida del cinturón appalache tiene unas 1.500 millas de largo, y desde Pennsylvania septentrional, en dirección al Suroeste, la faja, continua y, más o menos homogéneamente plegada, cubre más de 900 millas. En la Cordillera tales distancias abarcan bastante bien el trecho desde Canadá a Méjico, y allí, incluso con nuestro actual estado de conocimiento incompleto, es seguro que hubo grandes diferencias en las épocas de plegamiento dentro de dominios, que son únicamente una fracción de 1.000 millas; a lo largo del arumbamiento general; veremos ejemplo de ello más adelante. Si es que nos inclinamos a pensar que la Cordillera es marcadamente diferente de los Appalachés, haremos bien en observar sencillamente, sin bajar a los detalles de testimonio, que a pesar de ciertas diferencias obvias en el aspecto general (la mayor parte de las cuales son superficiales y función de la diferencia de edad), hay más semejanza que la que algunos geólogos parecen haber reconocido y, en una comparación sincera y profunda, apenas parecería probable que la historia de los Appalachés fuera muy diferente en sus características generales, ex-

cepto, desde luego, en su total ubicación en el tiempo. En cualquier caso, asumir que todo el gran cinturón appalachiano experimentase simultáneamente un profundo paroxismo, sin más evidencia que la que tenemos hasta ahora, está totalmente injustificado.

Muy bien pudiera ser que el plegamiento appalache se desarrollase durante todo el transecurso del Paleozoico. Algunos geólogos opinaron así, pero no se les ha prestado mucha atención. Recientemente ha hecho Hsu (1950) una recopilación, al parecer exhaustiva, de los antecedentes, con el resultado de acumular gran cantidad de hechos de observación que podrían ser interpretados de aquella manera, y merece la pena tener presente que la mayor parte de tales hechos fueron obtenidos por geólogos de campo que trabajaban con una mentalidad dominada por la idea de la ocurrencia de una fase mayor de plegamiento al final del Paleozoico, o por lo menos en la época permiana. Es lástima que en los Appalachians, tan profundamente erosionados, se nos haya dejado, como hizo notar Gilluly (1949), meramente el núcleo de las áreas intensamente plegadas, de modo que la mayor parte, o quizá casi todo el cúmulo, de testimonios críticos, ha quedado destruido y barrido desde largo tiempo atrás; pero, incluso así, se ha registrado en diversas partes de la Cadena la existencia de discordancias angulares y de otros tipos de testimonio, que demuestran o sugieren orogénesis ordovícico-silurianas y del Devoniano superior. Puede que haya habido muchas otras desde el Precambriano en adelante. Desde luego, la mayor parte de los geólogos que han llegado a reconocer estos movimientos más antiguos han aceptado concomitantemente que el movimiento appalache realmente importante tuvo lugar en el Paleozoico superior. Algunos, sin embargo, y en especial aunque no exclusivamente, los que han trabajado en años recientes, han manifestado en diversos grados de convicción la posibilidad de que los movimientos del Paleozoico superior fueran las fases últimas, y relativamente débiles,

de extinción del proceso orogénico, y no su culminación. Las observaciones de los investigadores de la época actual, tales como King (1950) y Hess (1940) merecen un estudio cuidadoso.

Para que no se me acuse aquí de la misma clase de defecto que estoy intentado impugnar, permítaseme que subraye (si es que es necesario) la clara posibilidad de que pueda haber habido un gran espasmo de plegamiento, quizá exactamente a finales del Permiano, si es que deducimos tal edad independientemente de la orogénesis. Yo solo sostengo que no está probado de manera alguna y que según muchos hechos, a los que no se ha dado la importancia que merecen, no parece nada probable.

Y al reconocer francamente este estado general de nuestros conocimientos, surge otra conclusión colateral que debo señalar como ineludible. Cualquiera que sea lo que sepamos o ignoremos acerca de la orogénesis appaláchica, en todo el conjunto de hechos testimoniales hasta ahora acumulados no hay prueba de convicción que nos ligue en modo alguno a la idea de que en alguna época tuviera lugar allí una gran revolución. Una conclusión tan trascendental como es la de ocurrencia de una revolución del alcance de la appalachiana no debería nunca aceptarse hasta que los hechos no nos obliguen a ello. Si hacemos un repaso de su historia encontramos que la conclusión surgió primero, derivada originalmente de la relación bíblica del Diluvio, y que los hechos se «encontraron», hechos a medida después.

Otro ejemplo, del mismo tipo general, pero de diferentes implicaciones por lo que se refiere a la escala de tiempos, se encuentra en la forma en que trata Stille la orogénesis larárica. El problema aquí no es solamente el de la época orogénica exacta, sino el más amplio de la simultaneidad, regional o mundial. Ya comenté esta cuestión (Spieker 1946, páginas 144-145), pero merece la pena examinarla de nuevo en este texto, bajo más amplio punto de vista. Repito la figura 19 del *Professional Paper* 205 para mayor comodidad de

referencia (fig. 3 de esta publicación). Este diagrama habla por sí solo. De acuerdo con sus datos, la orogénesis podría haber tenido lugar, en todos estos sitios tan dispersos, en las mismas dos épocas (Maestrichtense-Danés y Monsense-Tha-
netense) especificadas por Stille, o yendo al otro extremo, podría haber ocurrido en épocas distintas en cada uno de ellos. El razonamiento mediante el cual estas dos pulsacio-

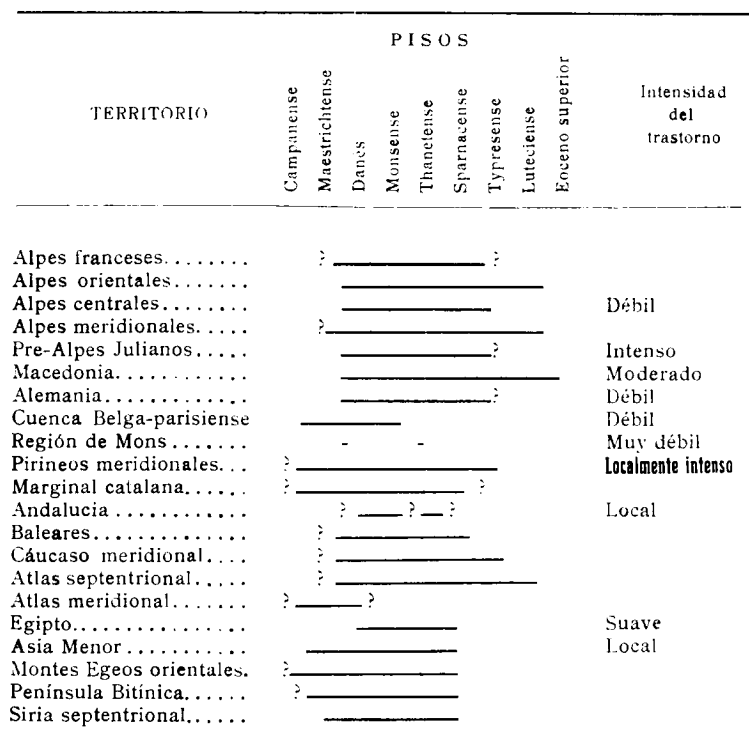


Fig. 3.—Determinación de edades de la orogénesis larámica en Europa (según la figura 19 del U. S. G. S. Prof. Paper 205). Las líneas representan la ubicación en el tiempo entre lechos limítrofes, de acuerdo con los datos de Stille.

nes ubicadas entre límites muy estrechos y de alcance mundial, son extraídas de estos datos es, de nuevo primordialmente, un acto de hipótesis, precisamente la inadmisibile hipó-

tesis de la conclusión que se intenta demostrar. Apenas podría imaginarse un ejemplo más evidente de círculo vicioso.

Rutten (1949), en una publicación aparecida más tarde pero escrita antes de que se publicasen mis comentarios referentes al esquema de Stille, combatió la totalidad de la escala de tiempos propuesta por aquél, y sus conclusiones resultan eminentemente sólidas a pesar de que no pone claramente de manifiesto los argumentos realmente críticos de estratigrafía y tectónica, y de que no acierta a invocar gran número de hechos ya conocidos que hubieran dado gran fuerza a su tesis. No solamente la fase larámica, sino cada uno de los episodios orogénicos de Stille quedan sujetos a la misma crítica fundamental. Luego citaremos específicamente, algunos de los hechos argumentales referentes a la orogénesis larámica y a otras orogénesis americanas occidentales; aquí haremos sencillamente la observación de que la tesis de la simultaneidad global no solamente queda tristemente indemostrada, sino que es directamente controvertida, al menos para algunas etapas de los tiempos geológicos.

La literatura referente a los problemas de los Larámides suministra ejemplo de otra forma de razonamiento circular, por lo menos tan vicioso como aquél. Y no son solamente las referencias «viejas», a partes de cuya lectura algunos geólogos de los de la presente generación nos sentimos inclinados a sonreír, con una benevolencia algo fatua quizá, sino que gran parte de lo que nos preocupa ahora ha sido publicado dentro de la última década, más o menos. En mis propios estudios acerca de las cuestiones larámicas en el hemisferio occidental he quedado sorprendido por el número de localidades en los cuales lechos no fosilíferos han sido clasificados como terciarios sencillamente *porque* yacen sobre lechos de edad mesozoica (supuesta o determinada) mediante algún tipo de discordancia, o *porque* constituyen las primeras manifestaciones volcánicas que aparecen por encima de lechos conocidamente cretácicos, con o sin discordancia. Algunos de entre tales lechos han sido incluso

atribuidos al Eoceno y en algunos casos sin acompañamiento de interrogante. No es además infrecuente que la serie no contenga fósiles a lo largo de cientos de pies por encima y por debajo del horizonte, donde tiene lugar el cambio, bien sea discordancia, discordancia angular, o la base de las rocas volcánicas.

Todas estas conclusiones están basadas, desde luego, en la hipótesis de que el levantamiento, erosión o efusión volcánica señalaron el paso del Mesozoico al Cenozoico. Se refieren al mismo tiempo al establecimiento de la edad de la orogénesis y a la determinación de la escala de tiempos y de esta manera introducen desorden en el cuadro lógico, porque amenazan confusión en el razonamiento en lo referente a las relaciones fundamentales entre las orogénesis y la escala de tiempos; en sus formas más descaradas alcanzan la categoría de círculo vicioso. Por lo que atañe al problema de la escala de tiempos en sí mismo, ya se comentará más adelante. Por el momento, haremos bien en observar sencillamente la circunstancia desgraciada de que tales indulgencias solo sirven, tal como aparecen en la literatura geológica, para forzar en las mentes de los generalizadores poco críticos la «gran verdad» de que las eras terminaron por grandes trastornos y cambios revolucionarios de alcance general.

TESTIMONIOS PROCEDENTES DE UTAH CENTRAL (4)

Y ahora permítame que pase a considerar sumariamente algunos testimonios procedentes de Utah Central que tienen resonancia en todos estos problemas de índole gene-

(4) En la disertación original esta parte iba acompañada de abundante ilustración de proyecciones en color y sus correspondientes explicaciones verbales que contribuían en gran manera a corroborar y aclarar el texto. Pero desgraciadamente su reproducción en color resultaría demasiado costosa. De todos modos, la mayor parte de los hechos, razonamientos e ilustraciones han sido publicadas ya, y el lector interesado podrá encontrar sus referencias en la bibliografía.

ral. Fueron, por cierto, estos hechos los que dieron lugar al desarrollo de la mayor parte de las ideas que exponemos en esta conferencia. En la faja de transición entre las Mesas de Colorado y la Gran Cuenca, y en la región o país al Este, la presencia de discordancias cruzadas de conglomerados, discordancias angulares, lenguas de arenisca y las relaciones generales existentes entre las facies, componen un despliegue notable de testimonios que afortunadamente han quedado conservados y puestos de manifiesto en vez de quedar ocultos o destruidos, como ocurre frecuentemente en el caso de los cinturones orogénicos y sus aledaños. Por lo que se refiere a los testimonios mismos, tal como la conocemos actualmente, voy sencillamente a resumirlos, añadiendo unos pocos hechos nuevos que todavía no se han publicado; trazaré algunas comparaciones regionales y ofreceré las conclusiones que por ahora parecen razonables. Pero también daré cuenta de los acontecimientos más importantes acaecidos a lo largo del estudio que me ha llevado a componer la imagen actual, en la creencia de que no solamente suministrarán un telón de fondo útil para la apreciación de las circunstancias geológicas a que nos referimos, sino que al mismo tiempo contribuirán, posiblemente, a la mejor comprensión de los procesos básicos de la investigación geológica.

Las cosas sobre las que hago hincapié en esta comunicación se aprendieron por las duras, a lo largo de una serie de experiencias desilusionantes, pero eventualmente iluminadoras. Al principio de la campaña en Utah Central, en el año 1921, yo creía firmemente en la revolución larámica y en toda la teoría de los períodos críticos. Como todos los demás geólogos que conocía entonces, imaginaba un paroxismo tremendo y concentrado, un trastorno cortical que tenía como secuela amplios cambios radicales de alcance mundial, tanto en el ambiente físico como en el orgánico; lo que traía como consecuencia necesaria una ruptura, prácticamente universal, en los estratos de las masas continentales si-

tuadas entre el Cretáceo y el Terciario. De manera ciertamente inconsciente, me entregué, a lo largo de algunos de estos años, a conducir al error a muchos estudiantes, mediante la enseñanza entusiasta de estas doctrinas, entonces ortodoxas y de aceptación general.

Los primeros años de la campaña en Utah fueron afligidos por el problema de la búsqueda del límite Cretáceo-Terciario. Esta es la parte pertinente de la serie tal como estaba establecida entonces (5).

E O C E N O

Formación de Wasatch: Margas abigarradas, areniscas, conglomerados, cálizas de agua dulce.

CRETÁCEO SUPERIOR

Formación de Price River: Arenisca parda basta, parcialmente conglomerática con poca marga gris; en la base arenisca de Castlegate, que da origen a la formación de cortados o cingles.

Formación de Blackhawk: Arenisca de grano medio a fino, margas, carbón.

Arenisca de Star Point: Arenisca marina, parda clara, formando cingles.

Marga de Mancos.

No abundan los fósiles en las zonas críticas de esta serie, pero próximos a la parte media de la formación de Price River encontramos algunos, que fueron determinados por Reeside como aproximadamente coetáneos con los de las formaciones de Fruitland y Quickland de la región de San Juan, cuya edad corresponde al Montana superior. (Se opina aho-

(5) Para una idea general de las divisiones estratigráficas americanas y sus equivalentes europeas puede consultarse el «Cuadro sistemático de las formaciones geológicas y de las fases de plegamiento.—Nueva aportación», por J. M. Ríos, núm. 17, N. y C. del I. G. y M., Madrid, 1947.

ra que el Price River corresponde más bien al Montana medio.) A unos 500 pies por encima de estos lechos fosilíferos comenzaron a aparecer margas abigarradas, areniscas, conglomerados y cálizas de agua dulce, característicos de la formación de Wasatch, considerada tradicionalmente como cocena, pero no se apreciaba ninguna ruptura obvia en la secuencia. Ahora bien, el tiempo transcurrido entre el Montana superior y el Eoceno inferior es considerable, e incluye el paso de las últimas formaciones cretáceas (Lance o Danés) a las primeras terciarias (Fort Union o Monsense), o sea una separación de orden mayor, pero, ¿dónde se localiza este límite? Ahora, pasados ya más de treinta años, aún recuerdo bien el esfuerzo mental que desarrollamos. Reeside y yo estudiamos desesperadamente una y otra vez el corte del cañón de Price River tratando de encontrar la discontinuidad, seguros en nuestras mentes de que tendría que haberla y que únicamente escapaba a nuestras inadecuadas facultades de observación, pero fracasamos. En algún sitio de aquel corte debería estar la huella de la gran revolución, tan claramente registrada justamente al Oeste, en las montañas de Wasatch, donde los imponentes conglomerados del mismo nombre recubren el sistema plegado mediante discordancia angular; pero en el corte del cañón de Price River no pudimos encontrar nada que la recordase, ni siquiera vagamente. Observamos la discontinuidad en la base de la arenisca de Castlegate y pensamos que probablemente indicaba un levantamiento al Oeste, con la consiguiente aportación de sedimento basto, pero si no recuerdo mal, nunca se nos ocurrió pensar que ese sencillo cambio pudiera registrar verdaderamente la gran «revolución» exigida por el intenso plegamiento de las montañas de Wasatch. No podía ser así por el sencillo hecho de que correspondía a niveles bajos dentro del Cretáceo. Tal es la fuerza del cúmulo de antecedentes mentales.

A la desesperada, con las consiguientes reservas, y bajo la influencia de otro concepto rector, el de la noción entou-

ces prevalente de que los lechos abigarrados eran característicos del Terciario, elegimos una marga púrpura, el más bajo de los niveles rojos de toda la serie, para señalar el comienzo de la nueva era (6). Ahora sabemos que no lo marca (¿y cuál pudiera ser, en cualquier caso, su trascendencia mundial?) pero como límite stratigráfico me sigue pareciendo hoy tan bueno como cualquier otro. Sirve perfectamente bien para separar la formación de Price River de las capas suprayacentes (que no son Wasatch, ni Eoceno, como sabemos ahora, sino más bien el Cretáceo más alto: la formación de North Horn (ver figura 4), si consideramos la necesidad ineludible de límites en cartografía, y si reconocemos las facies como el factor realmente importante, puesto que no hay discontinuidad en esta parte de la región entre el Price River y el North Horn. Además, el corte completo, por encima, muestra que no hubo cambio físico observable durante el paso del Mesozoico al Cenozoico.

Consiguientemente a estas dificultades, y a las conclusiones a que se había llegado en los primeros años de la década del 20, consideradas ya entonces como muy poco consistentes y conforme adelantaban los trabajos en Utah Central, surgieron muchos hechos que resistían a toda explicación. Había unidades stratigráficas que no encajaban en el esquema entonces aceptado; estructuras que resultaban casi imposibles; localizaciones de fósiles que chocaban con la experiencia general paleontológica. Hacia la mitad de la década del 30, nos enfrentábamos con tantísimos enigmas, que todos los que estábamos interesados en esos problemas nos hallábamos, por decirlo de una manera suave, en un estado mental de bastante desconcierto.

Una mañana de noviembre de 1934 encontré entre mi correo un informe lacónico de C. W. Wilmore en que me comunicaba que algunos restos de huesos que yo había re-

(6) Esto se refiere solamente al corte del cañón de Price River: para otras zonas de la región se eligieron otros lechos, que tampoco tenían mayor valor en su importancia real.

cogido aquella temporada en la parte más baja de la «formación de Wasatch» correspondían en su mayor parte a Dinosaurios. Estas noticias me hicieron el efecto de una seca sacudida eléctrica; me sentía en un estado de incapacidad física. Después, conforme me fuí recuperando lentamente, en los primeros veinte minutos más o menos, una docena de hechos antipáticos que durante años habían rehusado encajar, entraron de repente en su sitio y en cuestión de horas quedaron resueltos algunos de los problemas más difíciles, y se manifestaron con toda claridad cuáles eran los hechos que necesitaban ser comprobados en el campo para resolver los restantes problemas. ¡De modo que, después de todo, las facies de lechos abigarrados, existentes en toda la región, no eran forzosamente terciarias! Ni tampoco los grandes conglomerados. Y la gran orogénesis tuvo lugar, no solamente mucho antes de la extinción de los Dinosaurios, sino en una época en que prevalecía la más absoluta quietud no lejos del frente del sistema plegado en surgencia, y durante la cual la vida transcurría como de ordinario: una potente serie sedimentaria de afloramiento casi perfecto y ya bien conocida, si se exceptúa esta determinación de edad de orden mayor, probaba estos hechos. Una vez liberado del pasado lastre de falsas ideas, respiré libremente y fuí capaz de proseguir mis investigaciones con gran alivio y la profunda satisfacción de comprender. No la comprensión completa, desde luego, porque durante años seguían turbando mi mente algunos problemas y todavía quedan otros por resolver, pero por lo menos teníamos la agradable sensación de estar sobre la pista verdadera y de trabajar con un acopio de criterios esencialmente sanos. Más que eso, teníamos la certidumbre, con respecto a los problemas todavía no resueltos, de que una parte de aquellas ideas pudieran todavía resultar equivocadas y nos manteniáramos por consiguiente alerta para vigilar los hechos o circunstancias aclaratorias, lo que resultó de gran provecho como veremos.

Desde luego, ya conocíamos algunos hechos, que databan incluso más de diez años antes de la revelación de la existencia de los huesos de dinosaurio, que deberían haber nos encarrilado si hubiéramos sabido reconocer su significado y alcance reales. Varias recogidas de fósiles de los lechos de «Wasatch» contenían especies de moluscos que intrigaron a Reeside, porque hasta entonces se conocían exclusivamente en formaciones más antiguas que el Wasatch, principalmente en el Lance y nunca más arriba que el Fort Union. No hicimos mucho caso; hasta entonces, pensamos, esos fósiles se habían estimado como características de tramos más antiguos, y ahora los encontramos en el Wasatch, lo que a nuestro juicio justificaba la mala fama que tienen los moluscos de agua dulce como fósiles de nivel. Con la tradicional ventaja de profetizar «a posteriori», podemos apreciar ahora que con un poco más de valor de convicción paleontológica hubiéramos llegado a la conclusión correcta de que los lechos en cuestión no podían corresponder al Wasatch, pero también debemos tener en cuenta la circunstancia atenuante de que aún no estaban maduras las circunstancias para llegar a tal conclusión; aún faltaba que aprender muchas cosas importantes. Es otra nueva prueba del poder de los prejuicios mentales. En este caso nos sujetábamos a dos nociones preconcebidas: una, la de que los lechos abigarrados en cuestión tenían que ser terciarios; otra, que los moluscos de agua dulce merecían poca confianza como fósiles de nivel. Fué necesaria la categoría altamente respetada de los vertebrados fósiles, y especialmente los dinosaurios, para pulverizar estas ideas y para colocar los hechos en una perspectiva más clara, sino totalmente correcta.

Pero la conclusión realmente importante que resultó de todo esto, y el cambio más radical de entre los conceptos fundamentales, fué el de que la orogénesis principal de las cadenas de Wasatch no determinó el fin del Mesozoico, sino que tuvo lugar bastante abajo en el Cretáceo. Una vez que

esto quedó probado, se abrió horizonte a muchas perspectivas nuevas en la historia geológica de la Cordillera Central Norteamericana. Pero otro de los descubrimientos colaterales resultó casi tan importante, y mucho más eficaz para la persecución de los trabajos de campo, de acuerdo con las nuevas ideas. Tan pronto como se reconoció que las facies de los «Highlands», caracterizadas por lechos abigarrados, conglomerados y cálizas de agua dulce, no eran inevitablemente terciarias, los datos antiguos hasta entonces mal interpretados y los de nueva aportación comenzaron a revelar la existencia en la región, no meramente de uno, sino más bien de una larga sucesión de movimientos.

Antes de mediar la década de 1930, casi todos los geólogos que habían trabajado allí agrupaban estos conglomerados tan notables, y evidentemente post-orogénicos, dentro de la formación de Wasatch. No todos; hubo algunos, como G. B. Richardson, y antes que él los miembros del King Survey, que habían, bien adivinado, o bien observado algún hecho que les sugería la posibilidad de que algunos de los grandes conglomerados pudieran ser cretáceos; pero o se pasó inadvertidamente sobre estas observaciones, o bien, como en el caso de los informes de Richardson, fueron meramente objeto de benévolas sonrisas, como ante fruto poco maduro de investigaciones de pionero, ignorante de que todos estos lechos «tenían que ser» terciarios. Pero la ironía no recae sobre aquellos viejos geólogos, sino más bien sobre los burlones sabilondos de días posteriores, puesto que algunos de esos conglomerados no son meramente cretáceos, sino incluso de edad jurásica. Y tómese buena nota de que estas observaciones de primera época fueren hechas por hombres que no estaban lastrados por ningún concepto preconcebido acerca de la materia.

Los hechos de observación sobre los que se basa el cuadro de la historia orogénica ahora aceptado (excepto algunas pocas cosas descubiertas desde 1949) y algunas de las consecuencias derivadas, se han expuesto en diversas publica-

ciones (Spieker, 1946, 1949 A, 1949 B; Hunt, 1950, 1954; Gilliland, 1951; Muessig, 1951, Lautenschlager, 1952; Hardy y Zeller, 1953; Burma y Hardy, 1953; Lee, 1953; Tucker, 1954; Young, 1955), pero aquí no podemos, no ya presentarlos, sino ni siquiera resumirlos. Sin embargo, es preciso que demos algún vistazo al estado actual de conocimientos con objeto de que dispongamos de materia inmediata para las observaciones generales referentes a las orogénesis que me gustaría ofrecer, con comentario acerca de ciertos aspectos de los hechos recogidos y mención de algunos otros pocos que hasta ahora no habían sido publicados.

La fig. 4 muestra, en esquema muy simplificado, las principales relaciones estratigráficas y estructurales existentes entre las formaciones implicadas. El mostrar en ella

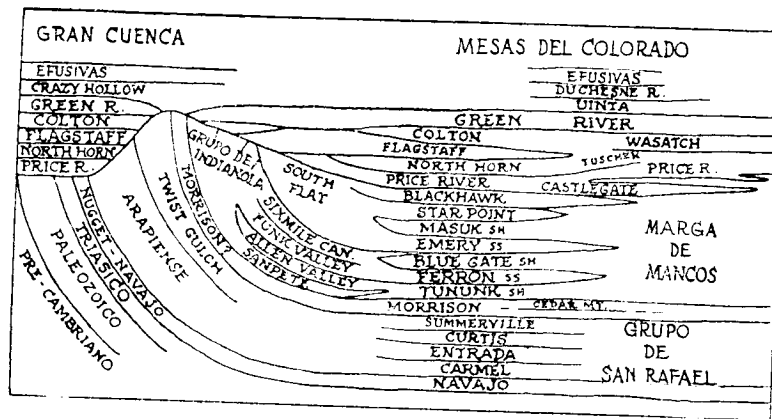


Fig. 4.—Relaciones estratigráficas en Utah central y oriental (modificado por Spieker, 1949a B, fig. 2). Este diagrama se concibe en amplia generalización; sólo muestra las relaciones de orden mayor y regionales. Es además puramente esquemático, y las dimensiones verticales muestran relación escasa, o nula, con respecto a los espesores relativos. En el texto se discuten las edades de las formaciones críticas y las correlaciones con respecto al esquema preexistente.

la disposición dentro de la escala de tiempos de todas las unidades hubiera exigido recargar esta ilustración en exceso; pero bastará, para servir las necesidades del presente

examen, con señalar que el Morrison (?) del diagrama es probablemente Jurásico superior y Cretáceo inferior. Dentro del Cretáceo superior el paso de Colorado a Montana tiene lugar más o menos, en la base de la arenisca de Emery y el del Montana medio al superior, en la formación de Price River; el paso de Cretáceo a Paleoceno yace a mitad de la formación de North Horn; y, exceptuando las rocas volcánicas posteriores, las formaciones más altas representan el Terciario inferior. Como base de comparación con respecto a la distribución antigua, por lo que se refiere a las unidades críticas en la vecindad del límite Cretáceo-Terciario, basta con señalar que, en general, la antigua formación de Wasatch está ahora abarcada por las formaciones de North Horn, Flagstaff y Colton. Del lado de la Gran Cuenca, sin embargo, la parte basal de la formación, o sea el antiguo «conglomerado de Wasatch» sabemos que corresponde ahora, en su mayor parte, a la formación de Price River, pero incluía también, localmente, conglomerados y lechos abigarrados que actualmente se refieren a una u otra de entre el conjunto de formaciones que van desde el Morrison (?) hasta Crazy Hollow inclusive.

De este cuadro estratigráfico y de la estructura que representa, se ha deducido una imagen de la historia orogénica muy diferente del que se concebía antes de la mitad de la década del 30. En vez de un gran acto de plegamiento y cabalgamiento, de una «revolución», con su consiguiente relajación, volcanismo, tensión y fallamiento normal, vemos una larga sucesión de movimientos, con épocas de fallamiento normal distribuidas entre esos trastornos de origen evidentemente compresivo. La estratigrafía regional muestra claramente que cualquiera que haya sido la importancia de los cambios geográficos en las nacientes cadenas de montañas, las áreas marginantes no fueron afectadas, sorprendentemente, y en este tranquilo ambiente las plantas y los animales seguían plácidamente su curso firme y normal de evo-

lución. Los dinosaurios sobrevivieron a las épocas de la máxima orogénesis y prosiguieron en toda su fuerza, Ceratópsidos, Hadrosaurios e incluso Saurópodos gigantes (de los que antes se pensó que habían quedado extintos al terminar el Jurásico) hasta el mismo fin del Mesozoico antes de perecer repentinamente en una época que no presencié (bastante irónicamente por lo que se refiere al destino de las viejas ideas) según todo lo que sabemos, apenas ningún trastorno en todo el cinturón de las Montañas Rocosas, y ciertamente menos que cualquier otra época desde finales del Jurásico superior al Terciario superior. No hubo «revolución» aquí, ni a fines del Cretáceo ni en ninguna otra época.

En la información más recientemente aparecida (Spieker, 1949 B, págs. 77-81) se ha dado una lista de 14 movimientos que pueden ser apreciados y datados con diferentes grados de certidumbre (7). Ocho de estos trajeron como consecuencia desplazamiento horizontal, plegamiento y cabalgamiento, y los otros seis originaron flexuras monoclinales y fallas normales. Desde 1949, se han descubierto tres más, dos de plegamiento (Hunt, 1954; Burma y Hardy, año 1953) y uno de fallamiento normal. Ahora se reconoce un total de 17, el más antiguo probablemente del Jurásico superior, pero posiblemente Cretáceo inferior, y el último en el Pleistoceno o Reciente. Los últimos movimientos, acompañados por cabalgamientos o fallas inversas, fueron probablemente del Terciario medio, pero es incierta su

(7) Posteriormente a la pronunciación de esta conferencia presentó Stokes en resumen (*Oil and Gas Jour.*, vol. 54, núm. 44, 10 marzo 1952, pág. 126) la sugerencia de que las estructuras de Utah central pueden ser resultado de hundimientos por disolución de sales, y no consecuencia de auténticos movimientos orogénicos. En la medida de los conocimientos actuales no parece probable que esto pueda afectar a las conclusiones que se ofrecen aquí, y tampoco parece prudente discutir tal idea hasta que se presente completa y apoyada por datos críticos de observación.

edad porque aún no se han encontrado fósiles en la serie volcánica que engloba la parte crítica del registro físico. Los tres movimientos más antiguos han sido deducidos por la presencia de conglomerados existentes en el corte, y en razonamiento estricto debemos reconocer que no están absolutamente probados, pero parece imposible interpretar los hechos observados de cualquier otra manera sensata. Todos los restantes movimientos están establecidos muy definitivamente y la mayor parte de ellos exactamente datados. El más viejo sistema de fallamiento normal (que coincide con el más antiguo de los movimientos datados) fué del final del Jurásico y el más moderno del Pleistoceno superior o reciente; plegamientos y fallamientos alternan irregularmente a lo largo de la secuencia en 7 intercambios. Este esquema no trasciende, sin embargo, a más de lo que muestra actualmente y muy bien podría quedar considerablemente corto respecto a la totalidad de movimientos; y si consideramos el carácter de lo que tenemos a la vista, es probable que hubiera movimientos en otras épocas, con respecto a las cuales no se ha encontrado evidencia cronológica, y para las que además, si consideramos los medios con que contamos para obtener tal evidencia, es posible que no sean encontrados nunca.

El testimonio para estos movimientos se apoya ampliamente en la existencia de discordancias angulares y discontinuidades definitivamente relacionadas pero, como ya se hizo notar, también en la existencia de conglomerados gruesos y bastos y de lenguas de areniscas que penetran hacia el Este y se intercalan en margas marinas. Repasemos ahora un poco más la naturaleza de estos datos y comentemos algunos de sus aspectos que aún no han sido presentados nunca en tipo de imprenta.

Discordancias angulares abundan en la región, pero no son corrientes hasta el Cretáceo superior. Deben haber existido también como secuela de las orogénesis más antiguas, pero caso de haber ocurrido así han sido arrastradas, por

erosión, en la parte oriental de la Gran Cuenca, donde las había. Solamente se ha encontrado una en el extremo septentrional de la Mesa de Gunnison, que es con toda seguridad anterior al Cretáceo superior y aun allí no se tiene la seguridad de que el conglomerado que la cubre sea jurásico o cretáceo; pero, es muy probablemente de edad jurásica. A partir del Montana medio, el corte presenta seis, posiblemente siete, discordancias que acusan plegamiento y cabalgamiento y cuatro o cinco que datan viejos sistemas de fallamiento normal. De los primeros, dos del Cretáceo superior, tienen alcance regional y un tercero, paleoceo, parece también ser de esa categoría, pero los otros tres o cuatro pudieran registrar sencillamente movimientos locales. Por lo que se refiere a la última categoría, el fallamiento normal involucrado no produjo por lo general discordancias angulares (aparte de las que existen entre las fallas truncadas y los lechos yacentes intactos) y a causa de la doble circunstancia de que las fallas de que hablamos están algo dispersas y de que los horizontes de discordancia no están, naturalmente, puestos de manifiesto en todos los sitios; es por consiguiente difícil decir cuál fué la extensión real de las cuatro o cinco que van acompañados de fallamiento normal.

Una de las últimas discordancias angulares que se han descubierto suministra una especie de lección práctica para la interpretación de tales características en la historia orogénica. La más extensa de entre las disconformidades angulares de la región es la que existe por debajo de la formación de Price River (denominada «conglomerado de Wasatch» en la antigua interpretación del cinturón orogénico) la cual se consideró, durante largo tiempo, como índice de un gran acto de plegamiento y cabalgamiento, es decir, el gran movimiento de compresión que produjo la complicada estructura de las montañas de Wasatch y que, incluso en esta época, se pensó que era testimonio de la orogénesis prelarámicida, un episodio único y definido, y quizá el más importante de todos. Pero, en 1949, encontró Hunt (1954) una po-

tente serie de estratos situada en la parte septentrional de la Mesa de Gunnison, la cual yace, mediante otra disconformidad angular, sobre las capas de Indianola. Ahora bien, la serie de Indianola, cuyos lechos más altos que puedan datarse son de edad de Colorado, era la unidad más joven conocida por debajo del Price River, dentro del cinturón plegado cuya discordancia sea de índole angular; y, por consiguiente, la edad de la orogénesis larámicida temprana se fijó como Montana medio a superior, por correlación, casi por rastreo completo, de la discordancia angular con la disconformidad entre el Price River y Blackhawk. Durante mucho tiempo se opinó que debería haber lechos de Montana inferior y medio dentro del cinturón plegado, pero no fué posible reconocerlos y se admitió entonces, como consecuencia lógica, que todos habían sido eliminados por la erosión en las zonas donde afloran las rocas afectadas, pero no se sospechó que hubiese tenido lugar ningún otro pulso orogénico en la época a que nos referimos. El descubrimiento por Hunt de esta «nueva» unidad, que denominó formación de South Flat, no solamente revela algo de la historia estratigráfica de los tiempos tempranos y medios de la época de Montana en el cinturón orogénico por largo tiempo buscado, sino que, y aún más importante, suministra clara prueba de un movimiento orogénico anterior al larámico temprano y posterior al Indianola, que (por lo menos en la medida que podemos apreciar a juzgar por la evidencia actual) puede haber sido tan importante como aquél.

La lección práctica que este hecho nos suministra es clara. Hemos visto ya que una determinada discordancia angular no indica forzosamente la totalidad de la orogénesis implicada y, sobre todo, la de un movimiento solitario o aislado. Si aquí no hubiera quedado conservado este pellizco de estratos de South Flat, con un espesor de unos 2.850 pies, en el conjunto de la Mesa de Gunnison, no podríamos haber sabido nunca que la discordancia por debajo del Price

River registra, al menos para una parte del cinturón orogénico, no uno, sino dos movimientos importantes.

La campaña que dió lugar al descubrimiento de la formación de South Flat suministra otra ilustración de las precarias circunstancias que pueden caracterizar fácilmente la investigación geológica de campo y su razonamiento. Un día, a finales de la campaña de 1949 en que Hunt estaba trabajando en la Mesa de Gunnison, me planteó una cuestión referente a unos nuevos lechos, discordantes sobre el Indianola, que no era capaz de identificar. Al día siguiente fuí con él para examinar el nuevo descubrimiento, e inmediatamente reconcí una asociación peculiar de tipos de rocas que es característica de la formación de North Horn en la zona de la Mesa de Wasatch próxima a Mount Pleasant, inmediatamente al Este, al otro lado del valle de Sanpete. Después de examinar el corte durante un día, no dudé en identificar estos lechos como correspondientes al North Horn; señalé, además, que aquí teníamos otro ejemplo de arrumbamientos faciales Este-Oeste dentro de la formación. En el cinturón orogénico, la formación de North Horn cambia corrientemente de facies en forma muy rápida (Spieker, 1949 A), y algunas de las facies individuales están arrumbadas de Este a Oeste. Todo parecía estar completamente de acuerdo con principios sólidamente establecidos; no solamente la unidad en los arrumbamientos de facies parecía correcta, sino que, además, no es de ninguna manera infrecuente en la Mesa de Gunnison que el North Horn descanse sobre la discordancia larámica temprana en antiguos salientes de la superficie, donde el Price River no llegó a depositarse. Pero una semana más tarde afirmaba Hunt que nuestro «North Horn» quedaba por debajo del Price River a unas cuatro millas al Sur de la zona donde lo habíamos visto, en South Flat. Manifesté mi incredulidad, lo que dió lugar a la discusión habitual; pero al día siguiente, en el campo, el asunto fué resuelto rápidamente. Los lechos en cuestión están verdaderamente bajo el Price River, y re-

sulta inmediatamente evidente que forman una nueva unidad, hasta ahora no reconocida, que es más vieja, no más joven, que el Price River, pero, sin embargo, más moderna que el Indianola. Ahora bien, bajo circunstancias estructurales y erosionales ligeramente distintas, la parte meridional de la actual masa de estos lechos hubiera sido erosionada y arrastrada, y nunca habríamos podido apreciar sus relaciones verdaderas con respecto al Price River; probablemente habríamos seguido llamándolas North Horn, no solamente equivocados con respecto a la verdadera disposición estratigráfica, sino ignorantes además de la discordancia angular, más antigua, que revela.

Todo geólogo comprende, o por lo menos debería comprender, que en cualquier área sometida a estudio la evidencia de campo queda probablemente muy lejos de ser completa; y probablemente todos nos damos cuenta, de una manera general, de que nuestra imagen paleogeográfica es deficiente por varias razones. Aquí vemos, en este caso particular, cuán fácilmente podemos equivocarnos, a pesar de seguir unas normas de observación y de razonamiento aparentemente sólidas, y, especialmente en un cinturón orogénico, podríamos fracasar en la apreciación de la evidencia de importantes movimientos en zonas donde nuestros datos parecerían registrar la historia completa.

Por este conjunto de razones, y también por otras, el testimonio presentado por el despliegue completo de discordancias angulares en el Utah central nos suministra oportunidad para evaluar diferentes matices del problema de establecimiento de las épocas de los movimientos orogénicos. No podemos ejercitar aquí el análisis de todos los hechos, pero hemos de decir algo acerca de la cuestión de la exactitud relativa de tal proceso, y también respecto a la cuestión, mencionada en la precedente discusión del plegamiento appalache, de las teorías que pretenden guiar la decisión en los casos en que las capas limítrofes están muy distanciadas en edad.

Todas menos una, de entre la media docena más o menos, de discordancias angulares ahora conocidas en el Utah central, se han encontrado en, por lo menos, un afloramiento, en que las capas limítrofes son de edades muy próximas y cuyo datado es, por consiguiente, exacto; y la única excepción (la discordancia anterior al South Flat) puede realmente referirse a lechos muy próximos en la serie; en este caso no se conoce con exactitud la edad de los lechos inmediatamente por encima de la discordancia. Una de ellas, la que está debajo del Price River (la larámica temprana), se ofrece en manifestaciones de categoría regional, y otra, la que está por debajo del Flagstaff, casi lo mismo. Ambas han sido seguidas en dirección al Este (la anterior al Flagstaff metro a metro, y la otra con una interrupción en la que la correlación entre ambos lados podría apenas resultar muy equivocada) y pasan a discordancias, que a su vez pasan a series de tipo transicional, de modo que las capas limítrofes resultan adyacentes en la columna estratigráfica. Es entonces, en la proximidad del paso de discordancia angular a disconformidad, donde podemos esperar que sea máxima la exactitud de datado de estos movimientos y, si la orogénesis a que se refieren se considera episódica, la conclusión corriente sería la de que eran de la misma edad en todas las localidades en que se encuentre la discordancia bajo la formación en cuestión. Pero a lo ancho de la región, ambos, el Price River y el Flagstaff, yacen sobre lechos plegados de todas las épocas más antiguas y allí donde las edades de los lechos, por encima y por debajo, se apartan notablemente, pueden muy bien registrar más de un movimiento, tal como hemos visto, en forma definida, resultar verdadero para la disposición relativa entre Price River y South Flat. En aquellos sitios donde el Flagstaff yace sobre el Jurásico, por ejemplo, podría registrar sencillamente la orogénesis larámica temprana si es que el área local a que se refiere hubiera permanecido positiva, o sencillamente si no hubiera sido erosionada y arrastrada, o deprimida has-

ta una posición sedimentaria hasta la época de Flagstaff, o por el contrario, podría incluir todos los movimientos anteriores. De todo esto resulta claramente que, incluso cuando tenemos la suerte de encontrar una discordancia angular cuyas capas limítrofes son de edades suficientemente próximas, no podemos, sin embargo, estar seguros de que la época exacta así atribuída sea válida más que para un área que esté dentro de los límites de una proximidad razonable a la de la localidad donde radica el hecho de observación.

Y por lo que se refiere a las teorías que situarían el movimiento en alguna parte especial del lapso de tiempo entre las edades de las capas limítrofes, ya el sólo testimonio de la zona de Utah Central muestra el eterno peligro de ambigüedad; los pocos hechos que acabamos de mencionar son suficientes para denotar el carácter arriesgado de tal razonamiento. Es, por ejemplo, evidente que por lo menos en algunas zonas de la región las formaciones de Price River y de Flagstaff fueron, cada una de ellas, precedidas inmediatamente por el plegamiento. Pero, como ya se ha hecho constar parcialmente, allí donde estas unidades yacen sobre discordancias angulares, los lechos por debajo de ellas están en general muy distanciados en edades, y si tales afloramientos fueran los únicos de que disponemos, la aplicación de cualquier teoría, salvo la de la que situase el movimiento inmediatamente antes de la edad de las capas suprayacentes, daría un resultado falso, al menos para parte del conjunto, y quizá para todo. En cualquier caso, parte de la orogénesis resultaría situada antes de lo que realmente le corresponde.

Pero hay también posibilidades de apreciación en sentido inverso. Cada discordancia angular, en su estado original en la margen de una banda plegada, debe difuminarse hacia el antepaís pasando a disconformidad, y con toda probabilidad, aún a sedimentos de facies transicionales en puntos más alejados. Y en dirección a la cadena, conforme los sedimentos post-orogénicos se extienden sobre los pedi-

mentos u otras superficies erosionadas niveladoras de los sistemas de plegamiento, las primeras de entre las más altas capas limítrofes deberían resultar progresivamente más jóvenes, a menos, desde luego, que el hundimiento lógicamente necesario para la reanudación de la sedimentación fuera de carácter repentino y muy extenso, y consiguiente a un nivelamiento bastante completo del área plegada a que se refiera (lo que, desde luego, constituye una auténtica posibilidad). Este tipo de teoría puede ser elaborado sin necesidad de recurrir de manera inmediata al hecho de observación, imaginando sencillamente, de manera gráfica, lo que debe ocurrir cuando las rocas son objeto de plegamiento, erosión, y así sucesivamente. Pero es que en el Utah central hay además gran cantidad de hechos de observación que apoyan tal concepto. Los lechos basales de la formación Flagstaff, dentro de la cual se pueden separar y seguir zonas, resultan ser más jóvenes hacia el Oeste en una parte de la región, al otro lado del valle de Sanpete; y en otra, en la zona septentrional del valle de Sevier, incluso se suceden hacia el Oeste, por encima de la discordancia, progresivamente por estratos de Colton, Green River y Crazy Hollow. Las masas de conglomerados del Price River no se pueden separar en zonas como el Flagstaff, y allí donde se extienden ampliamente sobre la discordancia no han sido determinadas las edades relativas de sus lechos basales, pero, en gran conjunto, se trata el mismo tipo de disposición; hay sitios en que toda la formación llega a apoyarse y bordear viejos gradientes en el piedmont del Cretáceo más alto y los estratos del North Horn, y en algunos sitios, se prolongan por encima de la discordancia, incluso los de Flagstaff. De nuevo nos encontramos con que si dispusiéramos únicamente de afloramientos que manifestasen, pongamos por caso, Flagstaff por encima del Indianola o Price River superior sobre Twist Gulch, llegaríamos forzosamente a una conclusión teórica, francamente falsa por cierto. Como consecuencia de estas consideraciones re-

sulta evidente, no solamente como análisis de la teoría puramente racional, sino en la firme y determinante aprehensión de los hechos observados, que las posibilidades son demasiado variadas para que resulte justificado otra cosa que no sea el uso frugal y cauto de la teoría en los casos en que las únicas capas limítrofes que se conozcan a ambos lados de una discordancia angular sean muy distantes en edad.

En añadidura a las discordancias angulares hay muchos conglomerados en el Utah central que suministran testimonio de orogénesis. A todo lo largo de la banda orogénica, y muy destacadamente en sus bordes, se han encontrado conglomerados bastos en unas u otras zonas y en todas las formaciones desde el Jurásico superior hasta el Terciario más alto. Los conglomerados de Morrison (?) y los de Indianola son formaciones potentes, conspicuas y de categoría regional, pero hasta ahora estos conglomerados y algunos pocos de formaciones más altas no se han encontrado nunca por encima de discordancias angulares. El argumento de que estas masas de sedimentos bastos son secuela de—y representan—orogénesis, ha sido repetidamente expresado ya (Spieker, 1946, págs. 150-52; 1949 A, págs. 74-76; 1949 B, páginas 18-24, 55-57, 77-79), y aquí bastará con decir que no solamente se depositaron, con toda seguridad, en las márgenes de una banda de highlands en proceso de elevación, sino que son tan semejantes además, en todas las características importantes, a los conglomerados que yacen sobre disconformidades angulares, y están tan definitivamente relacionados con los frentes de viejos sistemas plegados, que la consecuencia a extraer parece inevitable.

Quizá debería hacer observar aquí que muchos de los conglomerados de edades diferentes son exasperantemente semejantes en sus características físicas; el conglomerado de Price River, por ejemplo, en la vertiente septentrional de la cadena de Pavant, tiene exactamente el mismo aspecto que el Indianola de la Mesa de Gunnison septentrional, incluso si descendemos a detalles característicos como su to-

nalidad y las manchas de «álcali blanco» de los cingles, y si en la parte central de Gunnison no estuvieran separados el Price River y el Indianola superior por una discordancia angular muy nítida, sería imposible distinguirlos por cualquier criterio litológico de los que hasta ahora se han invocado. En muchas localidades donde la estructura es compleja, no es todavía seguro, después de considerables estudios, cuál conglomerado es cual. Hay además algunas manchas de conglomerado, destacadas en la zona oriental de la Gran Cuenca, que no podrán ser datadas nunca con exactitud. Mientras que todo se consideró como «conglomerado de Wasatch», no hubo problema alguno; pero ahora vemos que la verdad y el esclarecimiento han traído como consecuencia esa penalidad, que hace que el trabajo sea bastante erojoso, pero ofrece compensación al subrayar un criterio de unidad y de posible continuidad en la historia orogénica. Junto con los conglomerados se han encontrado igualmente lechos abigarrados en todas las formaciones de la banda marginal, con la única excepción del Green River, que, por definición local, está compuesto de lechos lacustres de tonos claros, e incluso esta formación incluye corrientemente lenguas de lechos abigarrados, que se adentran en ella partiendo de la formación de Colton. Hagamos notar aquí que el primer error respecto a esta materia, según el cual todas las capas abigarradas eran de edad terciaria, tuvo su origen en un punto de partida que parecía de fiar en la región hacia el Este, pero que nunca debería haber sido extrapolado hacia el Oeste. En las llanuras todas las capas abigarradas son, probablemente, de edad terciaria. La equivocación reside en suponer, sin suficiente meditación, que en todos los sitios resultaban función del tiempo, lo que desde luego puede ocurrir, pero (aquí tenemos de nuevo el factor crítico), *no es forzosamente necesario que lo sean*. En las montañas y en el piedmont se depositaban mientras tanto, durante largos períodos, otros tipos de sedimentos, principalmente de tonos pardos a gris oscuros, en

las depresiones hacia el Este. Pero si no función del tiempo, aquí parecen ser, al menos en parte, función de las circunstancias originantes de los sistemas de plegamiento (Spieker, 1949 A, págs. 77-78).

Tomemos brevemente en consideración la última categoría de testimonios que se ha de mencionar aquí, la de las lenguas de arenisca. En casi todo el corte estratigráfico del Cretáceo superior al Este de la banda de montañas, en la cuenca del río Colorado, hay lenguas de arenisca que se adentran en las margas marinas de Mancos, y hay por lo menos dos lenguas de margas, la del Allen Valley y otra más alta en la formación de Funk Valley que penetran hacia el Oeste, adentrándose en la zona marginal del cinturón montañoso. Una al menos, de entre las lenguas de arenisca, la de Castlegate, parece tener su origen casi con completa seguridad en la orogénesis larámica temprana, bajo forma de una corriente de sedimento basto arrastrado hacia el Este, procedente de las montañas en alzamiento. ¿Qué hemos de pensar de las de Emery y Ferron, tan notables? Todas tuvieron su origen en alternativas de las circunstancias de sedimentación, circunstancias que casi seguramente eran de índole diastrófica.

La cuestión estriba en si hubo pulsaciones de levantamiento en la banda montañosa, acompañadas de subsidencia bastante persistente en la depresión hacia el Este, o pulsaciones de hundimiento en la depresión, con suministro persistente de sedimentos procedentes del Oeste, o quizá mezcla de ambos casos. Pulsaciones de subsidencia parecen haber constituido condición esencial para la formación de la mayor parte, si no de todas las lenguas (Spieker, 1949 A, páginas 70-76), pero la orogénesis ha contribuido aparentemente a la creación de la muy extensa de Castlegate. Aunque la formación de cada una de las lenguas podría ser explicada sin recurrir a episodios de levantamiento por el Oeste, en conjunto indican ciertamente la existencia de un país suministrador de materiales, situado a suficiente altura

como para continuar suministrando material algo basto y con gradientes suficientes para que resultase posible su transporte hacia el Este. Tal país alimentador habría estado, desde luego, sujeto a levantamiento; sabemos que no se levantó de una sola vez y definitivamente al principio del Cretáceo superior. Entonces, ¿es que se levantó en pulsaciones y fueron alguna o todas ellas pulsaciones orogénicas? Deberíamos tomar nota además de que, incluso si el levantamiento fué pulsatorio, aún queda en pie la necesidad aparente de que la subsidencia fuera intermitente, con lo que planteamos el intrigante problema tectónico de la relación entre el levantamiento de la banda montañosa y la subsidencia de la depresión.

El descubrimiento por Hunt de la formación de South Flat suministra un poco más de materia de meditación respecto a este problema, que anima por lo menos la idea, si no es que la apoya intensamente, de que las lenguas importantes de arenisca reflejan las orogénesis. En su publicación a este respecto sugiere Hunt (*op. cit.*) que el South Flat es el correlativo occidental de la formación de Blackhawk y parece probable que, al menos en parte, esta hipótesis sea correcta. La formación de South Flat, sin embargo, consta de tres miembros. La parte superior corresponde bien al Blackhawk más próximo conocido, tanto por su litología como por los espesores; consiste casi por entero en sedimentos de grano medio o fino, con sólo un conglomerado delgado en la parte más baja y contiene carbón más o menos en la misma posición que el de Blackhawk; el miembro medio, sin embargo, consiste principalmente en conglomerados bastos (550 de sus 600 pies), y casi la mitad del miembro inferior consiste en conglomerado y arenisca basta. Sin entrar aquí en todo el detalle que sería necesario para su discusión completa, observemos, sin embargo, que estos sedimentos más bajos, bastamente clásticos, pueden muy bien ser equivalentes de las formaciones pre-Blackhawk de la Mesa oriental Wasatch, y más particularmente, que

la época del trastorno de South Flat puede ser Montana temprana, o sea la edad de la arenisca de Emery.

Este nuevo testimonio no es en manera alguna concluyente, pero es intensamente sugestivo, y añade así su poquito al complicado y difícil proceso de yuxtaponer todos los fragmentos testimoniales, que en sí, y por separado, resultan indecisos para el intento de componer un cuadro de geología histórica válido, y descubrir un principio capaz de ser desarrollado. Podríamos, quizá, decir razonablemente que las circunstancias de posibilidad de un origen orogénico para la arenisca de Emery son un poco más convincentes, pero nada más; y respecto a las lenguas de arenisca en general, para llegar a una decisión más firme hemos de tener aportación de nuevos datos, o una interpretación más luminosa de los hechos ahora conocidos.

Hay otro aspecto del nuevo orden de ideas sobre el que podemos poner un poquito más de énfasis y desarrollar su discusión. Antes de la década de los 30 se aceptaba bastante generalmente la idea de que, en la historia orogénica de la Gran Cuenca, el plegamiento constituía una etapa, el fallamiento normal otra muy distinta, muy posterior al plegamiento, y consecuencia natural del relajamiento de la descompresión, dentro del levantamiento general con tensión concomitante. Se pensó que el plegamiento cerró, como manifestación final, el Jurásico en la parte occidental de la Gran Cuenca, y el período Cretáceo en su parte oriental, y que el fallamiento había tenido lugar en el Terciario superior. Por cierto que algunos geólogos, como Loughlin y Hardley, habían observado en las cadenas meridionales de Wasatch la existencia de fallas normales, más antiguas que las cabalgantes, pero no se prestó mucha atención a este testimonio. Nolan fué el primero que presentó una imagen convincente de fallamiento normal más antiguo al reconocer, en el distrito de Gold Hill, cinco episodios distintos de plegamiento alternante con fallamiento normal, que alcanzaban a épocas tan bajas como el Terciario más bajo,

pero ni siquiera este hecho pareció cambiar la idea general de que el fallamiento normal constituía netamente un fenómeno tardío en la historia regional.

Los hechos observados en el Utah Central amplían la imagen considerablemente. En la vertiente septentrional de la Mesa de Gunnison hay una falla normal que corta desde la marga arapiense (cuya edad se extiende desde el Jurásico medio hasta la parte baja del Jurásico superior), pero que no corta el conglomerado de Indianola yacente sobre aquella marga, y cuya parte más baja es allí, probablemente, del Jurásico superior o Cretáceo inferior (Hunt, 1950). Al Norte, en las cadenas meridionales del sistema de Wasatch, hay fallas normales, cortadas por otras cabalgantes o inversas, que son anteriores a la orogénesis larámica temprana y posiblemente tan viejas que se sitúan en el Jurásico superior (Metter, 1955); y al Sur, en las Mesas de Gunnison y Wasatch, hay fallas normales a cuyos lados se manifiestan disparidades bruscas en la estratigrafía y que son prueba de movimientos, por lo menos en tres o más épocas diferentes, del Terciario bajo. (Spieker, 1949 B, páginas 59 a 64, 74-78; Hardy y Zeller, 1953). Estas fallas más antiguas probablemente no eran extensas, pero algunas de ellas ofrecen desplazamientos del orden de los 1.000 a los 2.000 pies, así es que difícilmente pueden considerarse como caracteres insignificantes del antiguo paisaje geológico. Hay incluso una, situada en la parte septentrional de la Mesa de Wasatch y aún no descrita en publicación porque su estudio está todavía en marcha, que parece haber desarrollado hasta el Paleoceno un salto, casi increíble, de 10.000 pies; a un lado de ella la caliza de Flagstaff yace mediante discordancia angular sobre la formación de Twist Gulch, muy inclinada; al otro reposan las capas de Flagstaff sobre una serie que yace tendida en disposición normal y de la que unos 4 ó 5.000 pies afloran en la región inmediata, y el resto, que alcanza hasta el Twist Gulch, existe probablemente por debajo. Además, en algunas de las fa-

llas antiguas ha habido reversión del movimiento, primero hacia abajo en un lado, después en el otro; y en las que se arrumban de Norte a Sur, el primer movimiento fué de descenso en el lado oriental, con independencia de cuál fuera su disposición con respecto a las masas de tierra pre-existentes.

Todo el problema del fallamiento normal en la Gran Cuenca ha sido objeto de controversia en distintas épocas, y hay geólogos hoy día que expresan sus dudas con respecto a este asunto, y piensan, por lo menos, si los movimientos más importantes creadores del dispositivo actual habrán sido todos ellos de tipo cabalgante. Es imposible adoptar todavía una posición absoluta con respecto a esta materia, porque casi todas las fallas limitantes de las cadenas (y es preciso que haya fallas de alguna clase), que hasta ahora se han estudiado, están soterradas bajo el aluvión, pero los testimonios suministrados por las zonas marginales de la región, aun adoptando una actitud de gran cautela, cargan el énfasis de la prueba sobre el sujeto del cabalgamiento, y actualmente resulta justificada una mayor aceptación del fallamiento normal. Al tener probado, al menos, algo de fallamiento normal, tanto para las zonas marginales orientales como para las occidentales, y con muchas probabilidades de extensión a toda la región, nos encontramos con capacidad para examinar con alguna certeza la posibilidad de que todos esos fallamientos comenzasen en épocas mesozoicas, y armados ya con el conocimiento de tal posibilidad, los observadores de campo estarán mejor preparados, de ahora en adelante, para detectar hechos que de otra manera podrían escapar a su observación. Y aunque aún parece probable que gran parte del fallamiento de categoría persistiese hasta los tiempos terciarios altos, otra parte considerable podría resultar, sin embargo, netamente más vieja.

El origen de la idea de que todas las fallas normales de categoría mayor ocurrieron tardíamente en la historia re-

gional suministra, desde luego, otro ejemplo de razonamiento geológico injustificable. A principios de siglo, Louderback encontró prueba clara de fallamiento plioceno en la parte occidental de la Gran Cuenca, e inmediatamente los geólogos hicieron extensiva esta conclusión a toda la región. Nuestra ciencia es demasiado propicia a extrapolaciones de tan poco fundamento como éste, y debemos precavernos constantemente contra ellas; pensemos en la sugerencia hecha en el párrafo anterior.

El entremezclamiento, demostrado, de fallamientos inversos y normales, suscita la interesante cuestión de la relación dinámica que pueda existir entre estos dos tipos de tectonismo, a los que generalmente se considera de sentidos opuestos y excluyentes uno de otro. El fallamiento normal, de origen generalmente gravitativo, y expresivo, por lo menos, de estiramiento si no de verdadera tensión, parecería denegar la compresión y, si verdaderamente es así, el testimonio del Utah central debe implicar una vacilación regional entre compresión y tensión, circunstancia posible pero difícilmente aceptable. La compresión de radicación profunda puede producir, desde luego, estructura en rampas, pero este tipo de mecánica apenas puede explicar los conocidos esquemas que presenta el fallamiento normal en el Utah central. Por otra parte, podemos concebir el estiramiento de la capa externa de un sector cortical cuando éste se abomba en una época de compresión. De hecho ha demostrado Rubey (1952) que hay etapas de tal tipo de proceso durante las cuales la elongación periférica de la masa que se abomba es inevitable, y esto pudiera constituir la base para una explicación válida.

Ahora, para desembocar desde todas estas diversas consideraciones hacia una de las principales conclusiones de esta comunicación, diremos que los testimonios del Utah central muestran, en conjunto, que hubo evidentemente movimiento multiplex, bien fuera en muchas pulsaciones distintas, bien en un proceso más o menos continuo, en algunas de cuyas

partes reconocemos verdaderamente «episodios» individuales de orogénesis. Con el conocimiento que tenemos por ahora es difícil adoptar una postura, pero me parece claro que *los elementos de juicio podrían interpretarse por lo menos tan bien como indicativos de orogénesis continua, que de otra cosa cualquiera*. De hecho, algunos de los testimonios procedentes de la parte septentrional del valle de Sevier y extremidad adyacente meridional del valle de Sanpete son difícilmente interpretables de otra manera, que no sea por plegamientos (o por lo menos como una superficie sobre margas jurásicas de complicado plegamiento), que se alzó continuamente durante las épocas del Cretáceo superior y Terciario inferior (Gilliland, 1952, págs. 73-76; Spieker, 1949 B, págs. 66-68).

Existen otros testimonios que parecerían apuntar en ambos sentidos. Así por ejemplo, el gran espesor (miles de pies) de conglomerado en el Indianola de la Mesa de Gunnison y de Cedar Hills (Schoff, 1951, pág. 624), sugiere con facilidad un levantamiento retrasado, pero incluso allí la marcada diferencia existente entre los conglomerados superiores e inferiores del Indianola (Spieker, 1949 B, páginas 21, 105) indica la existencia de alguna clase de interrupción. Esta interrupción no implica necesariamente, sin embargo, la acción de orogénesis; puede haber sido consecuencia de otras circunstancias. Más importante es el hecho de que, incluso en la Mesa de Gunnison, muy adentrada en el cinturón orogénico, la época entre el Colorado superior y el Montana medio, registrada por lo menos parcialmente en la formación de South Flat, sea testimonio de una mayor o menor calma; las formaciones carboníferas en la parte superior del South Flat podrían apenas concebirse depositadas en una época de trastornos. Y lo mismo podríamos decir de otras zonas de la región; mientras que se encuentra conglomerado basto en toda la serie occidental, desde el Jurásico superior al Terciario medio, hay también sedimentos de grano fino, arcillas, margas hojosas y cali-

zas cuya disposición parecería haber requerido condiciones de quietud. Pero, incluso en este caso, la región ofrece hechos que hacen que tal cosa sea de difícil interpretación. Se han visto allí conglomerados que contienen cantos de varios pies de diámetro y han sido seguidos paso a paso hasta ver cómo pasaban a areniscas de grano fino, margas e incluso calizas, en recorridos de menos de una milla. Los conglomerados implican, por lo menos, grandes turbulencias, activos arroyos de gran pendiente; los lodos y cales deben haberse depositado, por el contrario, en calma. ¿Qué debemos pensar entonces? Al parecer, que la mera presencia de sedimentos de grano fino, incluso hojosos, aunque sin duda muestra quietud en la localidad concreta de sedimentación, no implica forzosamente que no tuvieran lugar trastornos en algún sitio próximo.

Y por lo que se refiere a la cuestión de las discordancias levantadas que, como señalamos ya antes en esta conferencia, es de necesidad que se desarrollen si es que tuvo lugar alguna sedimentación dentro de una banda plegada a lo largo de un proceso de deformación continua, puede ahora afirmarse que existen tales casos, puestos de manifiesto en localidades muy distantes en el Utah central. Dos de estas discordancias, una de ellas de edad Montana (Spieker, 1949 B, pág. 73, fig. 10), y la otra Fort Unión (misma obra, págs. 55-56, fig. 5), ubicadas en la misma alineación estructural pero en diferentes Mesas y a distancia de unas 35 millas, yacen ahora verticales; y en la última de las dos la formación de Twist Gulch, antiguamente levantada a posición vertical, ha vuelto fortuitamente ahora aproximadamente a su posición original horizontal. Además, no sólo las discordancias angulares, sino también las fallas, tanto normales (Spieker, obra citada, págs. 60-62) como de cabalgamiento (Metter, 1955), han sido levantadas por plegamiento posterior y rotas por cabalgamiento consiguiente. Todas estas características podrían haberse formado tanto en movimiento episódico como continuo, pero su existen-

cia responde por lo menos a la cuestión, por lo que se refiere al problema del movimiento continuo.

Hasta los últimos años de la década del 40 me orienté, casi exclusivamente, por los términos del plegamiento episódico, pero ahora parece evidente que los hechos no exigen tal conclusión, sino que la idea de movimiento aparentemente continuo resulta perfectamente aceptable. Sin embargo, si la opinión (basada en gran cantidad de observaciones y de discriminación, pero todavía con el neto cuño de opinión) merece ser tenida en cuenta, debo decir que no opino que el movimiento real de las rocas en la región fuese absolutamente continuo. El empuje regional pudo haberlo sido (y después de todo éste es el tipo de secuencias mecánicas que utilizamos subconscientemente cuando pensamos acerca de la periodicidad o episodidad del diastrofismo; inconscientemente imaginamos la Tierra reuniendo sus fuerzas, por decirlo así, y liberándolas ocasionalmente en una explosión de orogénesis), pero parece probable que, como respuesta al esfuerzo, cediese la costra tan pronto aquí como allá, profunda y extensamente unas veces, local y ligeramente en otras épocas, quizá en toda la gama concebible de magnitudes repartida en el espacio y tiempo, pero sin ninguna regularidad obvia.

La actual margen oriental de la Gran Cuenca en el Utah central fué teatro, por consiguiente, de la gestación de un sistema de plegamiento que comenzó durante el Jurásico superior y continuó por lo menos hasta el Terciario medio, o quizá hasta más tarde. El movimiento parece haber alcanzado su máxima intensidad y extensión durante el Cretáceo superior, posiblemente también durante el Cretáceo inferior, y daría la impresión de haberse extinguido en una serie de trastornos localizados, y menos intensos, a lo largo del Terciario. Si seguimos pensando en términos de fenómenos episódicos, podemos aceptar denominaciones tales como la de «Laramica temprana» para partes de este proceso, pero tenemos motivos para preguntarnos si tal no-

mencolatura está justificada o si, más bien, no conducirá quizá a error. Por un lado, deberíamos probablemente reconocer el fenómeno representado, por ejemplo, por la discordancia angular, de gran ámbito de extensión superficial, existente bajo la formación de Price River, pero por otro lado, tengo la vehemente sospecha de que lo verdaderamente importante que observamos aquí es la presencia de un ciclo mayor de orogénesis, que se extiende desde el Jurásico superior hasta el Terciario superior, y éste es precisamente el fenómeno al que deberíamos dar nombre. ¿Megaorogenia de la Cordillera Central?, quizá; o quizá, preferiblemente, otro mejor. Pero, haciendo caso omiso del conjunto, sería preferible, por lo menos por ahora, no poner demasiado énfasis ni en el significado, ni en la actual entidad de «episodios» tales como el larámico temprano.

Antes de abandonar este punto general me gustaría trazar unas pocas comparaciones y contrastes regionales amplios, que parecen suministrar alimento para meditación con respecto a la cuestión entera de la orogénesis, en el espacio y en el tiempo. Existen, por un lado, algunas semejanzas notables en la historia orogénica de toda la Cordillera Norteamericana, pero por otro tenemos algunos contrastes igualmente notables. Las semejanzas se refieren principalmente a los aspectos más generales del cuadro, los contrastes a algunos detalles.

Comenzando con las comparaciones, observemos que algunos trabajos recientes realizados en la alineación de las Montañas Rocosas que desde el Canadá bajan, a través de Montana occidental y Wyoming, cruzando Utah central y suroriental, hasta Nevada Meridional, han suministrado testimonios de orogénesis para partes o para todo el ciclo mayor que acabamos de especificar. Hay en la Columbia Británica septentrional sedimentos de gruesos y bastos conglomerados del Cretáceo inferior y, a pesar del hecho de que no parecería haber allí discordancia angular bajo ellos (la disposición es algo parecida a la del Indianola en el Utah

central), apenas podemos escapar a la conclusión de que, parte por lo menos del Cretáceo inferior, fuera testigo de orogénesis en el Noroeste del Canadá. Más al Sur en este país, hay otros conglomerados del Cretáceo inferior que presentan una disposición semejante. Ya he llamado la atención acerca de la posibilidad de actuación de plegamientos anteriores al Cretáceo superior en zonas muy distanciadas dentro de esta banda (Spieler, 1946, págs. 150-155) y Mackin (1947, págs. 11-12) ha encontrado prueba de plegamiento en el Cretáceo medio de Utah suroccidental. En las cordilleras del Wyoming occidental, señala Rubey (en una comunicación personal) que ha encontrado pruebas abundantes de orogénesis que comienzan en el Jurásico y se prosiguen hasta el Terciario. Resulta entonces que desde la parte central a la oriental de la rama principal de la Cordillera los rasgos más amplios de la historia del plegamiento parecen haber sido esencialmente similares. Más hacia el Oeste, en la Gran Cuenca, no parece que haya prueba aplicable al Mesozoico superior y al Terciario superior, pero por otro lado, la hay clara de que el plegamiento y acabalgamiento comenzaron más pronto que al Este, durante el Triásico superior y el Jurásico inferior (Muller y Ferguson, 1936; Ferguson y Muller, 1949), y muy bien puede haber prevalecido el mismo tipo de ciclo. En todo este esquema parecería que ondas sucesivas de movimiento hayan progresado en dirección al Este.

Por otro lado tenemos, dentro del ciclo mayor, algunos contrastes que se oponen a la regularidad y unidad regional entre los elementos de la historia orogénica. En el Wyoming occidental, Love (1939) ha encontrado una sucesión de discordancias angulares, en cantidad semejante a las suministradas por el Utah central, y si estas discordancias representan realmente episodios de movimiento, éstos no concuerdan de ninguna manera con los del Utah central; uno aún podría concordar, pero el resto, evidentemente, no. Aún más sorprendente es el caso del cabalgamiento de Lewis y

coestructuras del Noroeste de Montana y Canadá meridional. La orogénesis que las produjo no está datada con exactitud, pero parece cierto que haya tenido lugar después del Paleoceno, y probablemente a principios del Eoceno. Pero éste no fué trastorno de pequeña categoría; el empuje creador del gran cabalgamiento de Lewis, episódico o no, fué de orden mayor y podría pensarse, lógicamente, que hubiese afectado a una gran parte del Continente. Sin embargo, en el Utah central, todo el período de tiempo dentro del cual tuvo lugar, indudablemente, este movimiento, está ampliamente representado por la caliza de Flagstaff, cuya edad está ahora bastante bien determinada como paleocena superior y eocena inferior (La Roque, 1951), y resulta evidente que esta fué una de las pocas épocas de calma general, caracterizada por la deposición de geles calizos, pizarras bituminosas y otros materiales de grano muy fino, o sin grano. No solamente no hay ningún indicio de trastorno, sino que, además, los sedimentos registran una gran calma, y algunos son hojosos, que deberían haber sido agitados si se hubiera presentado alguna violencia cortical en escena. Y ello a pesar de que la formación de Flagstaff penetra muy adentro en la banda orogénica. Ahora bien, he señalado ya que esta misma región demuestra la posibilidad de que sedimentos de grano fino se hayan acumulado próximos a localidades de trastornos contemporáneos, y para aclarar cualquier sospecha de contradicción por lo que se refiere a este asunto, debemos hacer notar que lo que constituye prueba de la falta de orogénesis dentro del área a que nos referimos es la gran extensión del manto de Flagstaff. Es verdad que el Flagstaff basal contiene importantes conglomerados en una banda de su superficie (Spieker, 1948 B, página 56), pero fueron producto de un movimiento más antiguo. También contiene algunos conglomerados marginales próximos a las montañas Tintic orientales (obra citada, pág. 31; Muessig, 1951), pero éstos reflejan, al parecer, levantamientos locales; por lo demás,

todos los elementos de juicio correspondientes a la época del Flagstaff, desde las Altas Mesas meridionales hasta las Montañas de Wasatch centrales, con distancia de más de 200 millas, registran calma. De haber habido algún trastorno regional en estas latitudes durante el paso del Paleoceno al Eoceno, tiene que haber tenido lugar fuera de la Gran Cuenca, lo que carece de sentido en un cuadro orogénico en el que la orogénesis avanza hacia el Este. Y en cualquier caso la totalidad de los testimonios muestra que en toda la gran área ocupada por las calizas de Flagstaff, dentro de la banda de montañas del Utah central, no hubo trastorno importante durante la época en que se desarrolló el cabalgamiento de Lewis.

Ahora resultará claro qué es lo que pensaba cuando expresé mis dudas con respecto a la unidad de la orogénesis appalache. Las 1.500 millas de la banda Appalache, dispuestas a lo largo de la alineación de las Montañas Rocosas, se extenderían desde Nevada meridional hasta el distrito del Peace River del Canadá noroccidental. ¡Fijémonos en la diversidad y duración de su historia orogénica! ¿Nos atreveremos a aceptar que la Appalachiana era muy diferente? La distancia entre los pliegues y cabalgamientos del Montana occidental y el área de Flagstaff del Utah central es apenas de 300 a 400 millas (según donde quede el límite meridional del orogeno de Montana). Esto cabe varias veces dentro del cinturón appalache. Ciertamente es que, como dijo Pasteur, «analogía no es prueba», pero a menudo las analogías indican el camino, y en geología nos vemos obligados a tratar con gran cantidad de ellas. Evidentemente, abarca todos aquellos casos que en la ciencia *están* cubiertos por una ley natural u otra manifestación cualquiera de acuerdo general.

Finalmente, por lo que se refiere a las orogénesis, permítanme que me extienda un poco acerca del uso del término «revolución». Ya he influido bastante en contra suya, y recomendé su abandono (Spieker, 1946, pág. 149); en vista

de algunas reacciones en contra de esta propuesta voy, sin embargo, a reiterarla y ampliarla algo. Algunos geólogos se inclinan a pensar que, desde luego, no tuvo lugar ninguna gran revolución, tal como se concebía en tiempos; probablemente nunca; pero también piensan que «revolución» es una palabra útil, establecida de largo tiempo atrás, y que muy bien podríamos continuar usándola para las épocas de grandes orogénesis, y piensan además que muchas palabras, eventualmente, llegan a alcanzar un significado algo diferente de sus definiciones originales. Pero no en este caso. Esta es una palabra demasiado expresiva, demasiado sugestiva, que generalmente se entiende implicar un significado definido e inequívoco. No debería emplearse nunca para designar algo a cuyo significado no corresponde. Hacerlo así no supone alteración gradual, ni un cambio ligero en lexicografía; el cambio es profundo y no debería aceptarse. Recordemos que ahora podemos probar, con referencia a alguna orogénesis importante, la falta de revolución y que su verdadera existencia no puede ser demostrada para ninguna. El persistir en el uso del vocablo, sólo por satisfacer nuestra comodidad, es una manera chapucera de pensar, o por lo menos una blanda condescendencia y conservadurismo estúpidamente reaccionario. Tratemos siempre de decir lo que queremos decir y dar su significado exacto a lo que decimos; no caigamos en ambigüedades tales como llamar «revolución», con todo lo que inevitablemente implica la palabra, cuando verdaderamente no es eso lo que queremos expresar.

NATURALEZA DE LA ESCALA DE TIEMPOS

Y ahora permítanme que haga unas pocas observaciones con respecto a la naturaleza de la escala de tiempos, a la que referimos estos acontecimientos orogénicos y otros con ellos relacionados. La escala de tiempos constituye la ar-

mazón final de nuestra ciencia; ningún geólogo se atreve a menospreciarla. Es de importancia fundamental, por un lado, como expresión concreta de la característica que distingue a la Geología como rama básica de las ciencias: empleo del principio de superposición para determinar secuencias temporales. Con esto no quiero expresar meramente la ley de superposición estratigráfica enseñada a todo principiante de geología histórica, a pesar de que es su eje; sino todas las formas de superposición, de cristal sobre cristal o sobre masa de fondo, o de falla sobre junta, o cualquier otro acoplamiento o sucesión de estructuras, de superficie de terreno sobre cuerpo pétreo, de fósil sobre matriz, etc., etc., en añadidura a la superposición fundamental de capa sobre capa, sin la cual la Geología apenas sería una ciencia. Ninguna otra disciplina usa este principio, en categoría fundamental, salvo la Geología y materias derivadas de ella; de carácter a nuestra ciencia al mismo tiempo que provee su base central. No puedo ser tolerante con aquellos colegas que consideran la Geología como una ciencia «derivada», una materia de segunda categoría indigna de mantener su rango al lado de la Física y de la Química, una mera aplicación de las restantes disciplinas científicas a los problemas de la Tierra. Lo es verdaderamente, pero es mucho más que eso. Aquellos que abrigan el complejo de inferioridad que ello implica, meramente revelan falta de comprensión de la naturaleza vitalmente distinta de su objeto de estudio, y una persona en tal disposición de ánimo es poco apta para hacer adelantar su ciencia.

Merece la pena que hagamos notar, en observación colateral a este orden de ideas, que esa característica manera de pensar, basada en los diferentes modos y maneras de determinar secuencias a partir de superposiciones en el registro de las rocas, desarrollada por el geólogo desde la iniciación misma de sus primeros estudios acerca de la materia, no solamente caracteriza nuestra ciencia como una disciplina de tipo básico, sino que con frecuencia consti-

tuye el origen de las dificultades que surgen en los intentos de colaboración con hombres de ciencia procedentes de otros campos, a los cuales tal mecanismo mental es más o menos extraño. Nosotros, los geólogos, nos hemos acostumbrado tanto a los métodos y operaciones racionales que exige, que sin darnos cuenta consentimos que se apoderen de nosotros y lleguen a constituir una segunda naturaleza, de tal manera, que nos inclinamos a olvidar que, por muy sencillo que sea el procedimiento en sí, a otros hombres de ciencia les falta comúnmente toda familiaridad con este mecanismo, y de este modo son incapaces de darle la menor cabida cuando tratan de enjuiciar cuestiones de carácter peculiarmente geológico.

Pero, volviendo a nuestro objeto principal de discusión, la serie de Utah, trazada sobre las conclusiones que acabamos de exponer en lo referente a las orogénesis, también suministra mucha materia de meditación acerca de la escala de tiempos. En las márgenes de la banda orogénica, al Este de la discordancia angular, esta serie está intacta, sin discontinuidad, desde el Jurásico medio al Terciario inferior. Cada formación, desde la marga arapiense hasta el Green River, se diluye en su sucesora sin indicio de interrupción. De estos pasos, el más sorprendente cuando se observa por primera vez era, desde luego, la transición (dentro de la formación de North Horn) de Cretáceo a Terciario, que es la que abarca la separación de más importancia. Ahora ya no sorprende de la misma manera; tal como actualmente definimos el Cretáceo y el Terciario, no hay razón lógica por la cual debieran aparecer separados por una discontinuidad. He discutido esto en otros sitios (Spieker, 1946, págs. 142-149), y poco necesito añadir aquí. Pero no solamente el «límite» Cretáceo-Terciario, sino todos los demás. ¿Qué diríamos del «límite» Jurásico-Cretáceo inferior y el de éste con el Cretáceo superior? ¿Cuál es la importancia de una interrupción en el corte o de la falta de ella? ¿Qué clase de relación general de dependencia tie-

ne nuestra subdivisión estratigráfica con respecto a la escala de los tiempos? ¿Cuál es la naturaleza real de la escala de tiempos en sí misma?

Antes de enfrentarnos con este último punto, echemos un vistazo itinerante a alguna de las consecuencias de los otros. Entre otras cosas, pronto encontramos aquí un tipo de razonamiento, o por lo menos un mecanismo, al que se ha atribuido con exceso el carácter de conclusivo, en el campo de la estratigrafía; nos referimos al trazado de límites entre sistemas u otros límites importantes en series estratigráficas a las que falta una secuencia fósil razonablemente completa. Límites que colocamos en el más notable cambio litológico comprendido en el intervalo entre las primeras asociaciones fósiles conocidas que indiquen paso de una de las divisiones de tiempo implicadas a la otra, con la aceptación concomitante, usualmente implícita, pero a veces expresada, del cambio físico como representante de la coyuntura cronológica a que se refiere. El fenómeno es virtualmente universal, pero permítaseme tomar de nuevo ejemplos procedentes de la Cordillera Central. Algunos geólogos han propuesto, para las zonas pertinentes de la serie en que faltan los fósiles o no son diagnósticos, que el límite Cretáceo-Terciario y el que separa el Eoceno del Paleoceno, se coloquen en ciertos horizontes donde hay cambio litológico, de sedimentos lacustres a someros en el primer caso, y de un tipo de caliza a otro en el segundo caso. Pero, ¿cuál es la posible trascendencia mundial que pudieran ofrecer estos contactos? Constituyen meramente el registro de la indentación local de delta en lago en el primer caso, y de un cambio local en la composición física y química de las aguas del lago en el otro. Pero conferirles la categoría de hitos de una separación de categoría mayor y trascendencia global es llevar las cosas a un extremo absurdo, como denota la aplicación de la más mínima lógica elemental.

Si tomamos otro ejemplo, de naturaleza ligeramente di-

ferente, procedente de las montañas orientales de Tintic, vemos que Loughlin trazó el límite entre el Devoniano y el Mississipiense en la base de la cuarcita de Victoria, **unidad** en que alternan cuarcitas calcíferas y calizas silíceas, y que yace sobre la caliza de Pinyon Peak mediante discordancia local. El Pinyon Peak contiene fósiles devonianos. La formación de Victoria, aparentemente, no contiene fósiles, pero la dolomía de Gardner, que yace por encima, contiene fósiles mississippienses en su parte superior y el límite sistemático se colocó en la base de la formación Victoria porque su naturaleza cuarcífera y el testimonio de disconformidad por debajo de ella «demuestran que es la formación basal del Mississipiense» (Lindgren y Loughlin, 1919, pág. 39). Pero, en trabajo reciente dirigido por Lovering (Hal Morris, comunicación personal; Muessig, 1951, págs. 44-46), se indica que han sido encontrados fósiles del Devoniano superior en la parte más baja del tramo de Gardner, unidad bastante homogénea que no manifiesta indicio de discontinuidad física o cambio litológico de importancia entre las partes que contienen fósiles, devonianos y mississippienses, respectivamente. Parece lógico, en primera instancia, situar el límite de sistema en la discontinuidad física, y tal procedimiento se puede aún defender lógicamente como expediente puramente estratigráfico, no necesariamente determinante de un límite factual de tiempos. En el caso presente, sin embargo, vemos que el paso de Devoniano a Mississipiense yace realmente en algún otro sitio, sin que aparentemente se señale por criterio físico reconocible, dentro de la masa continua de la caliza de Gardner. ¿Y por qué no? ¿Por qué tendrían que haber quedado interrumpidas las condiciones marinas locales y haber cambiado ligeramente cuando comenzó el Mississipiense? Podríamos citar muchos otros ejemplos de esta clase en todas partes del mundo, y si consideramos el ritmo con que nos los suministra la literatura reciente podemos afirmar con seguridad que existen muchas situaciones aná-

logas para las que aún no han sido descubiertas las verdaderas posiciones de los límites cronológicos.

Los geólogos que insisten en la fijación de límites bien definidos litológicamente para situar en ellos las divisiones de la escala de tiempos están infundados por una filosofía fundamental que descansa en la aceptación del diastrofismo como determinante de tales subdivisiones. Y desde luego, cuando existen algunas discontinuidades marcadas, causadas por levantamiento y erosión (cambios eustáticos en el nivel de los mares), el caso podría ser argumentado de otra manera. Volveremos a esta posibilidad un poco más adelante.

Pero ahora volvamos a lo referente a la escala misma de los tiempos: la estructura en eras, períodos, etc., que hemos establecido, es una generalización, un tipo universal de concepto como los que abiertamente reconocemos como leyes naturales. Cuando fueron propuestos términos tales como Paleozoico, Cretáceo, Mioceno, era evidente la implicación de que su alcance se consideraba como mundial; se aceptó, como cosa evidente, que el Cretáceo no solamente existió en todo el mundo, sino también que fué testigo de la deposición de rocas potencialmente discernibles como pertenecientes a ese período. La mayor parte de los que siguieron a los precursores en la aplicación de la escala de tiempos, sin embargo, si es que en algún caso la tomaron en consideración como entidad filosófica, no llegaron a darse cuenta, al parecer, de que no todas las generalizaciones científicas son del mismo tipo básico; de que hay diferencias importantes entre ellas, determinadas por las dimensiones y naturaleza del ambiente requerido para establecerlas y apoyarlas. Nuestra escala de tiempos pertenece a un tipo de generalización, corriente en las ciencias biológicas y geológicas, al que he denominado distributivo, en oposición al tipo concentrativo que prevalece en las ciencias físicas y químicas (Spieker, 1954). Para mostrar un famoso ejemplo ilustrativo del último caso, citemos que bastó a Galileo

hacer unos pocos experimentos sencillos y desarrollar un análisis matemático, al alcance de cualquier bachiller moderno, para descubrir la ley de la caída de los cuerpos, generalización básica de la Física, universalmente válida tanto cuando Galileo la descubrió hace unos cuatrocientos cincuenta años, como en los tiempos actuales. Desde luego, se diera o no se diera cuenta de ello, Galileo en su época no podía estar seguro de si su ley sería aplicable en China o Inglaterra como lo era en Italia. *Eso tuvo que ser demostrado.* Sólo una vez que fué percibida la uniformidad de tal fenómeno físico, fué posible el desarrollo de sólidas teorías y leyes en Física y Química sobre la base, por decirlo así, de un desmuestre concentrado del fenómeno, en experimentación local. Pero con una cosa como la escala de tiempos, por el contrario, todo es muy diferente. Antes de que tal concepto pudiera ser probado, serían necesarios literalmente millones de hechos procedentes de todas partes del mundo. El proceso, y la evidencia, son distributivos. El concepto de evolución orgánica es otro ejemplo de primera categoría, y quizá el mejor, de esta clase de generalización.

¿Es que entonces nuestra escala de tiempos participa del carácter de ley natural? No por cierto. Sin embargo, o bien nuestros precursores fundadores o sus inmediatos sucesores lo consideraron así, y no podemos evitar la sensación de que, sin quererlo, emularon a los físicos y químicos de fabulosos éxitos en aquella época, que iban ampliando los principios de Newton y sus métodos en todos los rincones de sus dominios y lograban una gran generalización tras otra. ¡Acordémonos de Lavoisier, Young, Fresnel, Faraday! Los creadores y primeros extrapoladores de la escala de tiempos pueden, quizá, ser comprendidos, si no realmente excusados, en los términos de este planteamiento.

¿Cuántos de entre nosotros se dan cuenta de que la escala de tiempos está congelada, en su forma actual para

todo lo esencial, desde 1840 con la aparición de la *Penny Cyclopaedia*, y en 1841 con la propuesta, por Murchison, del Permiano? Si exceptuamos modificaciones, básicamente esenciales, tales como la inserción del Paleoceno, del Oligoceno y del Ordovicense, tenía ya entonces los rasgos y nombres que tan familiares nos son hoy en día. ¿Qué es lo que se conocía de la geología mundial en 1840? Un poco de Europa occidental, y no demasiado bien, y un margen reducido de Norteamérica. Toda Asia, Africa, Sudamérica y la mayor parte de Norteamérica eran virtualmente desconocidas. ¿Cómo se atrevían los precursores a aceptar que su escala sería capaz de encajar las rocas de estas áreas tan vastas, que constituyen, por mucho, la mayor parte del mundo? Solamente por suposición dogmática, por mera extensión del tipo de razonamiento desarrollado por Werner a partir de los hechos observados en su pequeño distrito de Sajonia. Y resulta ahora que en muchas partes del mundo, notablemente en India y en Sud-América, no encaja. ¡Pero, incluso allí se aplica! Los seguidores de los «padres fundadores» se extendieron a través de la Tierra, y a la manera de Procusto, hicieron encajar las series que encontraban, incluso en localidades donde la evidencia actual proclamaba literalmente su falta de encaje, tan flexibles y acomodaticios son los «hechos» en Geología.

No encontramos hoy dificultad para «ver» Devoniano y Siluriano en el Estado de Nueva York. James Hall la tuvo. Es muy estimulante ver que decía en 1843: «No podemos considerar sino como una gran desgracia que se hiciera de los sistemas europeos modelo para nuestras rocas, que deberían haber sido estudiadas y descritas *tal como son* (aquí cae él mismo en idéntico error fundamental) y como deben siempre considerarse, como el máximo desarrollo que se ofrece en el mundo de las más viejas formaciones fosilíferas» (Hall, 1843, pág. 6). Aquí tenemos la reacción imparcial de uno de los más finos observado-

res, de una de las mentes más brillantes en la Historia de la Geología. Y todo esto, recuérdelo, refiriéndose al famoso Devoniano de New York, al que rendimos pleitesía hoy en día. Pero Hall no aceptaba parte alguna del Devoniano. Y su profesor, Amos Eaton (por cierto, un werneriano), había dicho antes que él, en 1824: «... pero la nomenclatura de estos geólogos tan capaces» (Connybeare y Phillips) «no puede ser adoptada para nuestra región sin distorsionar y maltratar la sencillez sin precedentes de nuestras series rocosas». Sin embargo se adoptó, primero por el mismo Hall y luego por sucesores que veían Siluriano y Devoniano donde se les ordenaba, y no solamente encontraban datos que lo confirmasen, sino que realmente deformaron otros muchos de manera que pudiesen encajar en el esquema preconcebido.

Supongamos que en vez de originarse en la región mediterránea y en Europa occidental la cultura que desarrolló la ciencia moderna, hubiera tenido su origen en Asia meridional (incidentalmente diremos que no es ninguna posibilidad fantástica; meramente ocurrió que la altísima calidad de la cultura asiática antigua se desarrolló por cauces alejados de lo científico, sin que nadie sepa de seguro, al parecer, por qué razones). ¿Qué clase de escala de tiempos tendríamos entonces? Esta es la serie litológica en la India, expuesta en sus rasgos generales, tal como resultó de su desarrollo en el siglo XIX:

| <i>División</i> | <i>Edades «tipo»</i> |
|-------------------|--|
| Grupo Ario. | Carbonífero superior a Pleistoceno. <i>Discontinuidad de orden mayor.</i> |
| Grupo Dravidiano. | Cambriano a Carbonífero medio. <i>Sin discontinuidad.</i> |
| Grupo de Purana. | ¿Proterozoico? <i>Discontinuidad</i> |
| Grupo Arcaico. | ¿Arqueozoico? |

En la parte más baja de la serie tenemos metamórficas cristalinas semejantes a nuestro Arcaico y así denominadas. Después, encima, sedimentos que se parecen mucho a nuestro Algonquiense, pero que aquí pasan gradualmente hacia arriba a capas semejantes, que contienen fósiles cambrianos. No puede postularse aquí discontinuidad mayor, aunque los primeros fósiles podrían suministrar algo que se parece a una línea divisoria. Desde aquí la serie se desarrolla hacia arriba sin interrupción notable hasta el Carbonífero medio, donde encontramos ciertamente una discontinuidad: la gran discordancia dravidiense indicadora de una orogénesis amplia y de erosión. Aquí tendría lugar una separación de eras. Por encima, todo el registro pétreo es de carácter transicional a lo largo del paso Permo-Triásico y ya no existen grandes discontinuidades hasta la parte última, donde tienen lugar los efectos de los movimientos himaláyicos del Terciario superior. No hay nada notable que señale el paso del Mesozoico al Cenozoico. Tendríamos, probablemente, una gran era desde el Carbonífero medio hasta las épocas del Terciario superior.

Resulta casi patético leer el reproche de Wadia, en su excelente resumen de la geología de la India, en que se queja de que la escala de tiempos europeos no encaja la serie litológica india; se presiente que en su mente pesaba la idea de que la culpa la tenía la geología de la India. Y ¿qué pensaríamos de Grabau, cuando al describir la geología del Afganistán dice que el Permiano de aquel país parece pasar transicionalmente al Triásico, pero que tiene que haber una gran discontinuidad, que somos incapaces de apreciar?

Ahora, continuando con nuestra hipótesis y teniendo siempre en cuenta que no estoy hablando acerca de la serie petrográfica tal como la conocemos ahora, sino en su versión original (y ésta es la condición que está de acuerdo con nuestro postulado, es decir, que la ciencia geológica hubiera surgido del mismo tipo de cultura intelectual que verda-

deramente se desarrolló en Europa), imaginemos que el avance de la civilización científica, en vez de desplazarse hacia el Oeste, a través del Atlántico, se hubiera dirigido hacia el Este, a través del Pacífico. En China habríamos visto el mismo cuadro general, sin discontinuidad precambriana, pero con una gran discontinuidad carbonífera, y hacia el Norte se podría haber establecido otra división, situada, más o menos, en el Jurásico de nuestra escala de tiempos; pero si nuestros supuestos observadores hubieran actuado en la manera que lo hicieron los europeos occidentales, la escala fijada en la India podría muy bien haber prevalecido. Continuando a través del Pacífico nos encontramos con que en California, seguramente, no se habría encontrado inapropiada la escala. Y a través de la Sierra, en la Gran Cuenca, los geólogos habrían encontrado, en su avance, y en la parte baja de la serie, exactamente las mismas circunstancias que prevalecen en la India; en la parte occidental de la Gran Cuenca ha señalado Wheeler la existencia de miles de pies de espesor de roca sedimentaria por debajo de la zona de *Olenellus*, concordante con el Cambriano y con el mismo aspecto; en la zona oriental de la Gran Cuenca ha encontrado Muessig el mismo dispositivo sedimentario; y de las montañas de Wasatch, me dice A. A. Baker que apenas puede distinguir el Precambriano del Cambriano. Para entonces el asunto ya estaría suficientemente remachado por lo que se refiere a esta parte de la serie; no habría Pre-Cambriano, en la forma en que lo enjuicamos nosotros, y pudiera haber ocurrido que el rumbo impreso a la investigación de los Appalaches hubiera sido considerablemente diferente. Por lo pronto, nuestro concepto del geosinclinal, como surco de profundización aguda, quizá no se habría desarrollado. ¿Con qué medida de afirmación total, quizá injustificadamente, hemos proyectado nuestro esquema del Cambriano discordante sobre un Pre-Cambriano cristalino, ciertamente válido por evidente y dominante en nuestro gran cratón central, sobre las cadenas Appala-

ches? Además, ¿cuántos geólogos han meditado el hecho de qué yacientes sobre el basamento cristalino se encuentran, en sitios, no solamente el Cambriano, sino rocas de todas las edades?

Continuando con nuestra hipotética experiencia, la discontinuidad mississippiense-pennsylvaniense de nuestro Mid-Continent habría encajado inmediatamente, y, aunque los fósiles no parecieran acordar exactamente, se les habría hecho encajar; la correlación paleontológica entre India y América, con respecto a esta parte de la escala, es todavía incierta y difícil. Todo el artificio habría sedimentado y se habría aplicado, hacia el Este, hasta Europa; e igualmente podríamos conjeturar que cualquier James Hall de aquella época habría estado tan en desacuerdo con él como lo estaba el auténtico con la escala de tiempos europea; y, por lo que se refiere a los geólogos europeos, es casi seguro que se encontrarían tan incómodos como verdaderamente lo están los geólogos indios con la escala actual. Pero, aparte de tales detalles de imaginación, es desde luego tan cierto como pueden serlos las cosas que, a resultas de tal experiencia, nuestra escala de tiempos hubiera surgido muy diferente de lo que es.

La cuestión básica estriba, desde luego, en si la Naturaleza creó verdaderamente un Cretáceo, un Cambriano. Probablemente no, en el sentido a que estamos habituados. Es muy cierto que los autores de la escala de tiempos no dispusieron de nada que se pareciera a la prueba que necesitaban para poderlo afirmar, y si examinamos el conjunto, incluso parece dudoso que la tengamos hoy en día. Si la parte de la columna estratigráfica que contiene nuestro Cretáceo, por ejemplo, hubiera sido definida en alguna localidad distinta que la de la cuenca de París, pongamos por caso en la región alpino-mediterránea, o en Asia meridional, o en California, es casi seguro que no habría habido Cretáceo tal como lo conocemos. Y eso que el Cretáceo les parece aún a muchos, quizá a la mayor parte de los

geólogos, como una de las unidades mejor definidas en la escala de tiempos, prácticamente a prueba de torpes, como si dijéramos. Pero, incluso disponiendo del gran número de datos y testimonios que tenemos hoy en día, y a pesar de algún resto de parcialidad ineludible que abrigamos como consecuencia de las enseñanzas que hemos sustentado, si tratamos de comprender los mecanismos de razonamiento que han operado en la evolución de uso de nuestra escala de tiempos, no es difícil llegar a una posición más bien escéptica con respecto a la proposición de que la Naturaleza creó verdaderamente un Cretáceo o un Cambriano.

Merece la pena de que aquellos que se alzan con ira contra tal herejía mediten momentáneamente acerca del efecto insidioso ejercido por el dogma original en la recogida e interpretación de hechos y datos, tanto paleontológicos como físicos. Se han diferenciado muchas especies fósiles, muy íntimamente emparentadas, e incluso géneros, nada más que porque se presentan próximos, pero en lados opuestos de un límite aceptado, en rocas que son consideradas generalmente como pertenecientes a diferentes divisiones. Por mencionar un caso notable citemos que cruzando el límite permo-triásico hay géneros de pelecípodos muy semejantes, pero que llevan nombres distintos porque se encontraron en el Permiano o en el Triásico, según los casos. Las listas gráficas y tabuladas de faunas ofrecen exclusiones mutuas, logradas de esta manera falsa, que dan la impresión de grandes cambios donde en realidad no los hubo. El desarrollo de esta clase de engaño en potencia ha sido instigado por una de las formas de especialización de nuestra ciencia. Con frecuencia hemos tenido paleontólogos del Paleozoico, y paleontólogos del Mesozoico, muchos de las cuales no se han aventurado seriamente a pasar al otro lado de los límites de los dominios que ellos mismos se asignaron, y así, de manera natural, hemos propendido al desarrollo de taxonomías restringidas y distintas.

En el mismo caso se hallan muchos de los testimonios

de cambio físico. Ya hemos examinado el ejemplo del límite devoniano-mississippiense en las Montañas Tínticas; supongamos que no hubiera fósiles en la parte inferior de la dolomía de Gardner: el cambio físico se tomaría de todos modos como base para señalar la separación. Los fósiles no siempre se presentan con suficiente proximidad a ambos lados de un límite físico; en realidad, si se examinasen todos los casos, no nos sorprendería encontrar que tales circunstancias están en minoría. Puede que muchos de los límites emplazados por criterios físicos en nuestros cortes no tengan el menor significado, por lo que se refiere a la escala actual de tiempos.

Y ¿en qué consiste esencialmente esta escala actual de tiempos? ¿En qué criterios reposa? Cuando se ahecha el conjunto y separamos el grano, demos por seguro que éste se encuentra, en su mayor parte, en el registro paleontológico, y que muy probablemente el testimonio físico es la paja. Repitiéndome a mí mismo en extracto (Spieker, 1946, página 146), «... si se suscita la cuestión referente a lo que verdaderamente significan los términos Cretáceo y Terciario, resulta evidente que han llegado a querer decir esencialmente épocas del pasado geológico en que vivían organismos más o menos característicos». El testimonio físico, incluso si ocasionalmente corroborase algo de la confianza en él depositada, no puede hacer gala de la misma afirmación general de valor.

En este sentido podemos decir que, desde luego, la Naturaleza creó un Cretáceo; pero es la fijación de límites al período lo que nos sitúa ante complicaciones. En muchas partes del mundo algunas de las cuales ya hemos examinado, podría concebirse un Cretáceo que bajase hasta dentro de nuestro Jurásico, o arriba hasta meterse en el Terciario; de la misma manera, un Carbonífero que invadiese, o bien nuestro Devoniano, o nuestro Permiano, o ambos, y lo mismo podría decirse ciertamente de cualquiera de nuestros períodos aceptados. A este respecto resultan muy elocuentes

intentos tales como los de Ulrich y Woodward, para la revisión de la escala de tiempos, y como lo son las discusiones de límites que han sido dedicadas a cada una de las juntas de todo el cuadro sistemático. Mientras que los fósiles devonianos típicos (los de la parte central del sistema) pueden ser reconocidos como tales, sin fallo, donde quiera que se encuentren, los que se acercan a lo que consideramos como Siluriano o Carbonífero, no resultan, a menudo, tan fáciles de encajar. ¿Y por qué? Sólo porque no estamos seguros, en tales casos límites, de lo que queremos expresar con las denominaciones Devoniano o Siluriano. Y muchos, que creían estar seguros, nos han endosado algo de la confusa y subversiva nomenclatura fósil arriba mencionada.

Incluso respecto a divisiones generalmente aceptadas como tales, hay desacuerdos, que nos son muy familiares, por lo que se refiere a los valores relativos en rango y subdivisión; desacuerdos que señalan la falta prevaleciente de comprensión básica que todavía caracteriza nuestro manejo de la escala, e iluminan, además, su precaria naturaleza. Los geólogos europeos rehusan a acceder, frente a la insistencia de los geólogos americanos, de que se divida el Carbonífero en Missisipiense y Pennsylvaniense; y hay, por lo menos, tres conceptos de categoría mayor por lo que se refiere a como debería dividirse el Cretáceo, y cuáles deberían ser las categorías de estas subdivisiones.

El problema del testimonio físico es, sin embargo, muy diferente que el del paleontológico; aquí no existe tal universalidad central. Hubo, desde luego, en el pasado, épocas en que reinaron circunstancias más o menos peculiares en muchas partes del globo, como por ejemplo las marismas carboneras del Pennsylvaniense y del Cretáceo, y los mares de creta de este último período. Pero, en general, las circunstancias eran muy diversas a lo largo y ancho de la Tierra durante las épocas que consagramos como períodos, y no podemos proponer tales tipos físicos para cualquiera de ellos, como podemos hacerlo con los paleontológicos. La par-

te del problema a la que solemos aplicar más comúnmente el criterio físico es, de nuevo, la de las separaciones; y aquí no es cuestión tanto de los caracteres litológicos distintivos como de las interrupciones en la secuencia estratigráfica, y su significado y alcance. Del conjunto de problemas que surgen, para incordiarlos a este respecto, podemos enfocar nuestra atención sobre dos de ellos, que nos encontramos casi por doquier y que son, probablemente, los principales: 1.º ¿En qué medida existen realmente discontinuidades en los pasos entre divisiones, según se definen paleontológicamente? y 2.º ¿Hay alguna razón básica por la que las rocas de divisiones aceptadas debieran separarse, general o comúnmente, por discontinuidades globalmente contemporáneas? Algunas facetas de la primera cuestión han sido examinadas ya como resultado de los testimonios suministrados por el Utah central. Examinemos ahora unos pocos hechos más que se refieren a ambas cuestiones.

Hace unos pocos años, me interesé en el tránsito Permiano-Triásico y comencé a tener dudas acerca de si los datos del mundo entero, en conjunto, no mostrarían más frecuentemente tránsito gradual que discontinuidad. Ya había comenzado de hecho el tedioso trabajo de búsqueda de la literatura regional, cuando apareció un tratado completo acerca de esta materia (Sherlock, 1948) que ponía de manifiesto que ya estaba completada tal tarea, y que se había obtenido exactamente el resultado que me había parecido probable. Pero aunque Sherlock muestra, de una manera convincente, que las series estratigráficas por todo el mundo ofrecen en su paso del Permiano aceptado al Triásico aceptado más comúnmente carácter transicional que de discordancia, todavía siente, sin embargo, la necesidad de disponer de una discontinuidad para separar el Paleozoico y el Mesozoico, y la encuentra entre el Rothliegendes medio y superior; discontinuidad que a su parecer hace frente a las exigencias de mejor modo, y, por consiguiente, recomienda que el límite entre ambas eras se sitúe en este horizonte. Permítase que

podemos. Hay frecuentes discontinuidades a lo largo de toda la serie, y en todo el mundo, y ocurren en abundancia, tanto dentro de nuestro sistema de divisiones como próximas a las zonas donde pensamos que hay límites, o que debiera haber límites, importantes. La importancia que se les atribuye, por lo que se refiere a la escala de tiempos, depende generalmente de donde se presenten; si se trata del último caso, pensamos entonces que son importantes, pero, en el primero, se dejan de lado, como faltas de importancia.

En el caso del límite Permiano-Triásico, una de las discontinuidades más importantes que se presentan en el mundo es la que existe entre las formaciones de Kaibab y Moenkopi, de las Mesas del Colorado y territorio adyacente. Los testimonios, por lo que se refiere a la existencia neta y gran extensión del hiato puesto allí de manifiesto, parecen formidables (Mc Kee, 1954, páginas 33-76, sumario con referencias) y, sin embargo, incluso la importancia de este cuadro tan coactivo puede exagerarse. En la zona occidental de la provincia hay, sin duda, discontinuidad entre los lechos del Permiano inferior y del Triásico inferior pero, hacia el Este, en la secuencia de lechos rojos del Utah oriental y Arizona nordoriental, la situación no es, en modo alguno, tan clara. Existen discordancias locales entre lechos identificados como Cutler y Moenkopi, pero, en la mayor parte del terreno, no hay prueba de discontinuidad, y en muchas áreas donde ha examinado el corte es difícil encontrar una línea divisoria, incluso si se invocan tales peculiaridades litológicas de orden menor como las que se han servido de criterio para separar las formaciones de referencia. Es difícil escapar a la sensación de que si los capaces geólogos que han trabajado en esta región hubieran ido a ella sin prejuicio alguno referente a la existencia, no digamos la necesidad de una discontinuidad para separar las rocas de las dos eras, podrían muy bien haber subrayado su continuidad, y la homogeneidad general del corte, más bien que las líneas divisorias a que nos referimos. Porque lo que verdaderamente im-

presiona acerca de la estratigrafía de esta región es el gran ciclo de sedimentación que comenzó en época permiana y continuó ininterrumpidamente hasta el Cretáceo inferior, durante el cual se depositaron, en alternancia variante, lechos rojos, dunas de arena, lechos abigarrados y conglomerados. Halgaito, Organ Rock, Hoskinnini, Moenkopi, Summerville, y en algunos casos incluso Entrada, presentan la misma tipología, localmente discernible por diferencias de color o detalles del carácter de estratificación, pero investidos generalmente por semejanzas más bien que por diferencias; Coconino, De Chelly, Cedar Mesa y Navajo presentaron un cuadro similar; en algunos sitios, la formación de De Chelly es análoga al típico Wingate; y el Chinle presenta el mismo tipo de disposición general que todo el «Morrison» de antiguo uso. Incluso la característica litología del Shinarump se repite en áreas considerables del Chinle. Un geólogo totalmente ajeno que situase espontáneamente las divisiones de orden mayor en esta región, hubiera separado con toda seguridad toda esta serie aparte como una gran unidad, claramente distinta de las cálizas marinas del Pennsylvaniense, y las más viejas, que están por debajo de las margas marinas y areniscas y lechos continentales del Cretáceo superior que yacen encima.

Y si las discontinuidades se conceptúan como de importancia para la situación de divisiones de la escala de tiempos, ¿qué diríamos de la discordancia presente en esta misma región entre el Moenkopi y los suprayacentes Shinarump y Chinle? Esta discontinuidad no es sola y universalmente mucho más definida y obvia que la que tenemos en la base del Moenkopi, sino, además, mucho más extensa. Todos los geólogos modernos que han trabajado en las Mesas del Colorado han quedado impresionados por la inevitabilidad de su ocurrencia. Pero como se encuentra dentro de un período de la escala de tiempos aceptada, se relega su trascendencia cronológica a un lugar de segunda categoría. Cuando se menciona este asunto en informes se individualiza la discor-

dancia pre-Moenkopi como señal «de discontinuidad entre las dos eras», pero no se da categoría similar al hiato post-Moenkopi.

Incluso si mantenemos la situación de existencia de una interrupción importante en la región de la Mesa del Colorado, la región correspondiente al Norte nos muestra una disposición de naturaleza claramente opuesta. En todo Wyoming las formaciones permianas no solamente pasan gradualmente hacia arriba al Triásico supra-yacente, sino que además indentan hacia el Este con las masas de lechos rojos en la formación de Chugwater, de modo que el paso de Paleozoico a Mesozoico evidentemente yace (sin que quede marcado por ningún criterio físico por ahora discernible) dentro de una serie continua de arcillas arenosas rojas y margas (Thomas, 1934) y las mismas circunstancias se presentan a lo largo de las montañas de Uinta (Thomas y Krueger, 1946). La existencia de una verdadera indentación oscilatoria e intergradación consecuente nos proporcionan la mejor prueba de continuidad existente en nuestros archivos estratigráficos, generalmente ambiguos, y las mismas lenguas resultan al construir, probablemente, los mejores apovos de la escala de tiempos (Spieker, 1949 A, pág. 67) de tal manera, que ambas cuestiones, de ruptura o continuidad en la secuencia y de colocación del «límite» Permiano-Triásico en la masa del Chugwater o su equivalente, se resuelven automáticamente, según todo lo que sabemos actualmente y lo que dan de sí los medios de interpretación, en lo referente a esta región. El cuerpo de margas rojas constituyen evidentemente una unidad homogénea, y la presencia dentro de él de la transición Permiano-Triásica está demostrada con absoluta seguridad por las lenguas de indentación de ambos, Permiano y Triásico, que la penetran. Y, como ya se hizo notar, cuando se resumen los datos de todo el mundo, este límite de categoría reputadamente mayor, desciende a una categoría de menos importancia, quizá incluso menor que muchas

de las separaciones de orden menor aceptadas en las columnas estratigráficas y escala de tiempos generales.

Todo esto, sin embargo, se refiere sobre todo a las condiciones físicas, y algunos de entre ustedes pensarán, sin duda, que paso por alto el testimonio paleontológico que es, después de todo, nuestro apoyo básico en esa materia. De ninguna manera; sometidos a escrutinio sincero los registros de los fósiles, nos conducen a la misma conclusión. Uno tras otro los estudios modernos nos van mostrando varios grupos de organismos que han cruzado este Rubicon, sin que acusen el cambio antes preconizado, y sin más alteración, por cierto, que otros niveles de la escala comúnmente considerados como de mucha menor categoría (véase Kummel, 1953); ya a principios de siglo, J. P. Smith (1901) observó, con gran agudeza, la existencia de continuidad, más bien que de ruptura, en este horizonte. Los paleontólogos especialistas en vertebrados han venido a reconocer, en años recientes, que los animales a que se refiere su especialidad no experimentaron al cruzar la zona de límites pre establecidos más cambio que el de su evolución normal, e incluso el mundo invertebrado (referente al cual muchos observadores piensan todavía que tuvo lugar una crisis) no se puede mostrar que haya experimentado ningún trastorno revolucionario; de nuevo, si examinamos imparcialmente la cuestión, con concesiones con respecto a los fenómenos de nomenclatura que hemos señalado más atrás, es muy dudoso que hubiera grandes cambios, y algunos paleontólogos especialistas en invertebrados, con los cuales he comentado este asunto, confiesan que hubo incluso menos cambio que con respecto a los vertebrados. Las plantas, desde luego, tuvieron sus grandes momentos de evolución en épocas muy distintas de las de los animales; como ya dije en otros sitios, y en otro idioma (Spieker, 1946, pág. 147) el Paleófitico y el Mesófitico resultarían muy diferentes de nuestro Paleozoico y Mesozoico.

Incluso el límite Cretáceo-Terciario, que siempre ha pa-

recido implicar una amplia discontinuidad aceptada por mí mismo no hace mucho tiempo (Spieker, 1946, págs. 145 y 146), puede que no resulte tan extenso como se creyó en tiempos. Los geólogos que han trabajado en la Costa del Golfo me aseguran que tal discontinuidad existe uniformemente en su territorio; pero en el lado atlántico, varios trabajos recientes han manifestado la existencia de transiciones en localidades dispersas desde New Jersey hasta Florida. Y esto en región donde se podía ver en tiempos (antes de que el afloramiento quedase oculto por la urbanización) en una garganta próxima a Washington D. C., el sorprendente desarrollo de un plano de arrasamiento en los estratos, que cortaba las conchas de Ammonites discoideos, con cantidades de *Turritella Mortoni* yacentes en contacto inmediato sobre los fósiles truncados del Cretáceo. Es un ejemplo verdaderamente impresionante, pero es fácil extrapolar su significado más allá de los límites lógicos. En nuestro Occidente interior y en la Cordillera, nos parece ahora la transición mucho más corriente que la discontinuidad. No parece que haya habido gran cambio en California. En la California baja el contacto se ha colocado en una discontinuidad de la serie, pero únicamente como consecuencia de la ruptura misma, ya que no hay fósiles. Ya critiqué antes esta manera de razonar. La exploración petrolífera en Sud-América ha revelado la existencia de muchas transiciones, e incluso una «discordancia angular», que se suponía marcaba el contacto, ha resultado ser una falla cabalgante. En el Próximo Oriente y parte de los Alpes es notoriamente difícil separar el Cretáceo y el Paleoceno, y así sucesivamente. Si se examina imparcialmente, por todo el mundo, esta parte de la serie estratigráfica se ve que incluso el tránsito Mesozoico-Cenozoico podría rebajarse a una importancia menor, e incluso desaparecer como factor en el establecimiento de categorías de la historia de la Tierra.

¿Y qué diremos de la importancia básica de las discontinuidades existentes dentro de la serie? La doctrina de que

tales interrupciones regionales separan las divisiones importantes radica, desde luego, en el concepto original de revolución, y se ha apoyado en América, principalmente, en la famosa frase de Chamberlin de que el diastrofismo es la base final de correlación. En mi opinión, ha ejercido una de las influencias más desafortunadas en la historia de nuestra ciencia, es puro dogma. Ha resultado malaventurada, lo mismo si es cierta como si es falsa: incluso si fuera cierta, porque los hechos en los cuales se apoyó eran a todas luces absolutamente insuficientes (de aquí que lo llame dogma); porque resulta deliciosamente plausible, y porque la influencia temporal de su autor, ampliamente respetado, la llevó al dominio entre las opiniones de los geólogos americanos (y también de otros) aún mucho antes de que pudiera ser comprobada o repudiada por hechos de origen imparcial. Si falsa, evidentemente dañina. Y, en cualquier caso, porque una vez adoptada tendería a cerrar las mentes de los geólogos a otras posibilidades, haciéndoles pasar por alto hechos, como los que se han citado, que señalan una orientación opuesta.

Supongamos que tratamos de analizar el caso mediante un pequeño examen de lógica elemental. Con el conocimiento actual del mecanismo de la Tierra la única causa que podría, con toda seguridad, originar una discontinuidad contemporánea por todo el mundo sería un descenso eustático en el nivel de los mares. Aparte de los cambios de volumen causados por sustracción para formar los mantos de hielo (cuyos efectos aunque reducidos en sentido vertical parecen ser de alcance mundial), la única causa posible de movimiento eustático sería la deformación de las cuencas oceánicas. Esto ha ocurrido con toda probabilidad, pero para que produjera una discontinuidad uniforme las masas continentales tendrían que permanecer firmes mientras se deformaban las depresiones oceánicas, lo que es apenas admisible en términos del conocimiento geofísico moderno. También podrían producir el mismo efecto contracciones y expansiones alternantes en toda la Tierra, esa especie de «respiración» en la que

han pasado algunos geólogos, pero de nuevo nos encontramos con que la plasticidad general de las masas continentales hacen altamente dudosa cualquier hipótesis que suponga una reacción uniforme. Además de que no podemos aceptar suposiciones que no podamos probar y emplearlas después para determinar los mismos fenómenos cuya aplicación nos es necesaria para demostrar la hipótesis: nos encontramos ante otro caso de razonamiento circular.

Y ¿qué es lo que verdaderamente observamos que ocurre hoy en día? La misma línea de costa que se levanta en un sitio y descende en otro; nos encontramos con toda la variedad imaginable en el desarrollo de este fenómeno a lo largo y ancho de la Tierra. ¿No implica esto transgresión aquí y regresión allá, simultáneamente? Incluso en pasadas épocas de amplias inundaciones continentales tienen que haber prevalecido estas circunstancias. El principio de Lyell es aún válido, con toda probabilidad, aunque parece que lo olvidamos algunas veces, y las discontinuidades erosivas en algunos sitios deben estar representadas, necesariamente, por sedimentación continua en otros; a menos, desde luego, que todas las masas continentales se levantasen simultáneamente por encima del nivel de sedimentación potencial; y, como ya hemos mostrado con ejemplos, hay suficiente evidencia estratigráfica referente a las zonas de límites que nos permite contradecirlo. Más de un geólogo ha hecho observar a lo largo de la historia de nuestra ciencia, que sedimentación en cualquier lado necesariamente exige erosión en algún otro punto y (a menos que queramos considerar las tierras alimentadoras y las cuencas sedimentarias, los continentes y los océanos, o las tierras y los mares, de manera uniforme, como mutuamente exclusivos, en lo que dudo que insista ningún geólogo hoy en día, es difícil ver cómo podría ser simultánea cualquier discontinuidad por todo el mundo, o incluso en un segmento suficientemente grande de un continente. Pero no debemos olvidar que el problema en conjunto es complejo, a veces incluso parecería insoluble,

ni tampoco que nuestro dominio de conocimientos puede resultar críticamente deficiente; lo que quizá podríamos decir, en plan conservador, en la presente coyuntura, es que tenemos por lo menos tanta fuerza para argumentarlo en un sentido como en otro. Hay grandes discontinuidades que pueden ser simultáneas, como se ha supuesto, aunque ahora nos parece poco probable, pero lo verdaderamente importante es que tal posibilidad no ha sido demostrada, y por consiguiente, el concepto no es apto para guiar el pensamiento de ningún geólogo, y menos al que trabaja en el campo que es de quien dependemos para la obtención de los hechos de observación sin los que nunca seremos capaces de resolver el problema.

¿Qué haremos entonces? Permítanme en primer lugar que alivie vuestras mentes de cualquier duda incipiente. No propongo ningún cambio en la escala de tiempos. Por un lado, la experiencia del pasado enseña que esto no serviría para nada. Pero, aún más importante, la escala que usamos es tan buena como podría serlo otra cualquiera; usémosla, meramente, con completo conocimiento de los hechos que he intentado poner de manifiesto. Pongamos todo nuestro empeño en manejarla inteligentemente trabajando para poner de manifiesto el significado real de sus divisiones y hagámosla conformar con la Naturaleza en la medida que nos sea posible, pero dándonos siempre cuenta de que en todo caso la correlación es mucho más importante que la subdivisión, y que todo nuestro sistema de divisiones puede resultar ilusorio; mejeremos por encima de todo nuestros conocimientos de paleontología, estratigrafía y geología estructural al máximo posible, para que podamos tratar con éxito la dificultad extrema de sus problemas, pero evitemos ver características que no estén justificadas por hechos aceptables y pertinentes. No olvidemos que nuestra escala de tiempos es una generalización de tipo distributivo y que, por consiguiente, no puede basarse en grupos de hechos, de sitio o época algunos.

No enseñemos más a las jóvenes generaciones que el Pa-

leozoico terminó con una oscura catástrofe y que el Mesozoico amaneció soleadamente en un mundo nuevo y saludablemente purgado, o cualquier otra expresión más moderada y menos colorida de crisis o revolución; y expurguemos nuestros textos de todo dogma que no pueda resistir la luz investigadora de la inspección rigurosa. Las primeras impresiones dejan profunda huella y las que el futuro geólogo asimila en los comienzos de su vida científica son muy difíciles de negar más tarde; nunca se borran sin rastro. Considero todo esto como muy importante; es mal negocio atiborrar a los estudiantes de ideas que, o bien tienen que ser luego regeneradas con harito trabajo, o bien subsisten obstinadamente viciando su trabajo. Y a menudo no se dan cuenta ellos mismos de los efectos de tal proceso; los caminos de la mente son con frecuencia inescrutables, como pueden confirmar los psiquiatras modernos.

Todo esto resulta especialmente auténtico cuando las ideas involucradas resultan tan sugestivas como lo son las imágenes de grandes revoluciones, períodos críticos, discontinuidades uniformes y desarrollo rítmico general de los fenómenos de la Tierra. El concepto de ritmo es muy afín a la mente humana (Spieker, 1952, pág. 713) y fácilmente nos complacemos con el ciclorama de regularidad que nos ha sido presentado por muchos retratistas de la historia geológica. Pero la agradable imagen así formulada no está verdaderamente confirmada por los hechos. Un eminente geólogo con quien discutí este asunto hace algunos años, resumió este aspecto de la cuestión, muy aptamente, con la expresión espontánea: constituye ciertamente un cuadro maravilloso, ¡lástima que sea mentira! Hasta que la Geofísica o alguna otra disciplina no venga en nuestra ayuda para establecer las subdivisiones de la escala de tiempos tendremos que confiar, como hasta ahora, en los fósiles. Pero ¿cómo haremos uso de ellos? Se ha reconocido durante mucho tiempo, al menos por algunos conocedores de la materia (para discusión breve, con bibliografía, véase Spieker, 1946, pá-

ginas 147 y 148), que es demostrable que los cambios importantes, extinciones y aparición repentina de nuevos tipos, utilizado todo ello comúnmente como criterio en uso de los conceptos de evolución, constituyen una base de las más pobres. Probablemente tendremos que rehacer toda la filosofía de la Paleontología, lo que requerirá cerebros excelentes; pero hay signos alentadores de que esta tarea está en marcha. Mientras tanto, lo único que puedo decir aquí, más bien vagamente, es que tenemos que tratar de obtener el máximo provecho, buscando constantemente la mejora y tratando de alcanzar, mediante razonamiento lógico y bien pensado, principios sólidos y eficaces.

Desde luego, en éste como en otros muchos puntos críticos de la Geología moderna, todo se reduce a la necesidad de mecanismos mentales sencillos y directos. Algunos creen que la salvación de la Geología se encuentra en el uso de las matemáticas superiores y en más amplio y profundo uso de la Física y Química. Este punto de vista resulta de admirable intención, pero puede muy fácilmente conducir a engaño. Sin duda, deberíamos utilizar al máximo posible estas disciplinas, pero recordando sus limitaciones cuando se aplican a los problemas predominantemente distributivos de la Geología, e invocando sus facultades allí donde lógicamente tengan aplicación. Por otra parte, la Geología fundamental está construída sobre la base de conceptos como los que he analizado a lo largo de esta disertación y, por ahora, se prestan muy pobremente a la colaboración de las operaciones matemáticas. Por consiguiente, son muy difíciles, en parte casi indomables, pero si han de ceder, lo harán a los expedientes esencialmente sencillos de un razonamiento fundamental, estrictamente lógico.

Todavía otra cuestión. Algunos de ustedes, sin duda, pensarán que resulta muy cómodo, con la ventaja que nos dan los tiempos actuales, exponer tales críticas acerca del modo como se desarrolló y funciona nuestra escala de tiempos, pero, ¿podría haberse hecho de otra manera? Es evi-

dente que los geólogos no podían esperar hasta que se hubiera estudiado toda la superficie del globo para llegar a formular la escala de tiempos, o para exponer generalizaciones con respecto a las orogénesis. Verdaderamente cierto, pero no es aquí donde reside el punto crítico de la cuestión. El fallo no reside tanto en la generalización prematura, lo que es inevitable en todas las etapas del desarrollo de la ciencia, sino en la aceptación prematura de generalizaciones asentadas sobre muy pobre base, tomándolas como bases sólidamente putativas para fundar en ellas todo el complejo procedimiento del trabajo científico en nuestro campo. Estriba en que se ha pensado universalmente antes de que la universalidad haya sido demostrada, tipo de error proverbial entre nosotros con el monumental ejemplo de Werner (del cual todavía no hemos aprendido todas las enseñanzas que se pueden deducir), al asumir épocas de grandes cambios (a lo que hechos locales pueden dar apoyo llamativo pero no menos espurco) y ligarlos a movimientos terráqueos para después constituir un conjunto muy entrelazado que nos recuerda algo del edificio lógico tan brillantemente entretejido por los estudios medievales, racionalmente impecable una vez que se aceptaron las premisas básicas, y tan densamente unificado que, como dijo Sir William Dampier, un ataque a cualquier parte del sistema podría ser inmediatamente interpretado como un ataque al todo. Con la comparativa libertad y elasticidad de la mente científica moderna, nuestro razonamiento geológico no está sujeto, desde luego, a tan rígido marco; pero aquí y allá surge de todos modos el regusto de medievalismo y haremos bien teniéndolo en cuenta.

Ahora bien, de todo esto puede resultar la impresión de que soy ante todo, iconoclasta; que he ofrecido poca cosa más que criticismo destructivo, lo que parece malsano al entusiasta incondicional. En efecto, mucho de lo que he dicho es destructivo, pero si he tratado de destrozados ídolos han sido ídolos nefastos que merecen ser destrozados. Además,

todo lo que he expresado puede resultar, en su mayor parte, prácticamente constructivo si recordamos la fuerza coercitiva del sistema de referencias mentales con los que trabajamos. De manera que vuelvo de nuevo a mi observación inicial: nuestro pensamiento acerca de las orogénesis, escala de tiempos, nuestras series estratigráficas, controla intensamente la expresión que damos a los hechos prácticos de observación que recogemos en el campo, que contemplamos en las columnas de los sondeos, y que examinamos en los materiales procedentes de niveles inferiores a la superficie y en los registros de exploración geofísica. Es, como dije, un circuito complejo, un mecanismo de autoalimentación. Nuestra ciencia nunca es más sólida que sus hechos, y los hechos comúnmente no más sólidos que nuestras ideas, que nuestra manera de pensar.

Y cuando, por fin, terminé estas observaciones, no pude encontrar mejor manera de expresar mis sentimientos que citar las palabras usadas por Sir William Ramsay cuando concluyó una conferencia en cuyo transecurso relató la fascinante historia del descubrimiento y detección, uno por uno, de los gases raros de nuestra atmósfera. Dijo (Ramsay, 1899, página 276):

Debo aprovechar esta oportunidad de agradecerles muy sinceramente el honor que me han hecho al invitarme a recitarles esta conferencia. Algún sabio ha dicho que la mayor alegría de la vida estriba en descubrir algo nuevo. Hay, sin embargo, otra alegría igualmente grande, la de dar a conocer los resultados de una investigación a otros hombres de ciencia. Esta alegría, amigos míos, me la han dado ustedes en un grado extremo, y por eso les doy mis gracias más expresivas.

BIBLIOGRAFÍA

- BERMA (B. H.) and HARDY (C. T.): *Pre-North Horn Orogeny in Central Utah*. «Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.», Vol. 35, pp. 549-53 (1953).
- FERGUSON (H. G.) and MULLER (S. W.): *Structural Geology of the*

- Hawthorne and Tonopah Quadrangles, Nevada*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 216 (1949).
- GILLILAND (W. N.): *Geology of the Gunnison Quadrangle, Utah*. «Univ. Nebraska Studies», N. S., No. 8 (1956).
- GILLULY (JAMES): *Distribution of Mountain Building in Geologic Time*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 60, pp. 561-90 (1949).
- HALL (JAMES): «Geology of New York», Pt. IV (1843).
- HARDY (C. T.): *Eastern Sevier Valley, Sevier and Sanpete Counties, with Reference to Formations of Jurassic Age*. «Utah. Geol. Mineral. Survey Bull.», 43 (1952).
- and ZELLER (H. D.): *Geology of the West-Central Part of the Gunnison Plateau Utah*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 64, pp. 1261-78 (1953).
- HENBEST (LLOYD G., ET AL.): *Symposium on Distribution of Evolutionary Explosions in Geologic Time*. «Jour. Paleon.», Vol. 26, pp. 297-394 (1952).
- HESS (H. H.): *Appalachian Peridotite Belt: Its Significance in Sequence of Events in Mountain Building*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 51, p. 1996 (1940).
- HUNT (R. E.): *Geology of the Northern Part of the Gunnison Plateau, Utah*. Ph. D. dissertation, Ohio State University (1950).
- *South Flat Formation, New Upper Cretaceous Formation of Central Utah*. «Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.», Vol. 38, pp. 118-28 (1954).
- Hsu (K. J.): *Evidence for the Dating of Paleozoic Orogenies of Eastern North America: a Contribution to the Problem of Distribution of Mountain-Building Movements in Geologic Time*. Master's thesis, Ohio State University (1950).
- KING (P. B.): *Tectonic Framework of Southeastern United States*. «Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.», Vol. 34, pp. 635-71 (1956).
- KUMMEL (BERNHARD): *American Triassic Coiled Nautiloids*. «U. S. Geol. Survey Prof. Paper», 250 (1953).
- LA ROCQUE (AURELE): *Molluscan Fauna of the Flagstaff Formation, Central Utah*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 62, p. 1457 (1951).
- LAUTENSCHLAGER (H. K.): *The Geology of the Central Part of the Pavant Range, Utah*. Ph. D. dissertation, Ohio State University (1952).
- LEE (KWANG-YUAN): *A petrographic Study of the Latest Cretaceous and Earliest Tertiary Formations of Central Utah*. Ph. D. dissertation, Ohio State University (1953).
- LINDGREN (W.) and LOUGHLIN (G. F.): *Geology and Ore Deposits of the Tintic Mountain District, Utah*. «U. S. Geol. Survey Prof. Papers», 107 (1919).
- LOVE (J. D.): *Geology Along the Southern Margin of the Absaroka Range, Wyoming*. «Geol. Soc. America Spec. Paper», 20 (1939).

- MACKIN (J. H.): *Some Structural Features of the Intrusion in the Iron Springs District*. «Utah Geol. Soc. Guidebook», 2 (1947).
- McKEE (E. D.): *Stratigraphy and History of the Moenkopi Formation of Triassic Age*. «Geol. Soc. America Memoir», 61 (1954).
- METTER (R. E.): *Geology of the Northern Part of the Southern Wasatch Mountains, Utah*. Ph. D. dissertation, Ohio State University (1955).
- MUESSIG (S. J.): *Geology of a Part of Long Ridge, Utah*. Ph. D. dissertation, Ohio State University (1951).
- MULLER (S. W.) and FERGUSON (H. G.): *Triassic and Lower Jurassic Formations of West-Central Nevada*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 47, pp. 241-52 (1936).
- POPOV (V. I.): *On the Continuity of Tectonic Movements*. «XVII Internat. Geol. Congr. USSR, Abstracts of Paper», p. 147 (1937).
- RAMSAY (WILLIAM): *The Recently Discovered Gases and Their Relation to the Periodic Law*. «Smithsonian Inst. Ann. Rept. for 1898», pp. 267-76 (1899).
- RUBEY (W. W.): *Geology and Mineral Resources of the Hardin and Brussels Quadrangles [in Illinois]*. «U. S. Geol. Survey Prof. Paper», 218, pp. 148-94 (1952).
- RUTTEN (L. M. R.): *Frequency and Periodicity of Orogenic Movements*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 60, pp. 1755-70 (1949).
- SCHATSKY (N. S.): *Orogenic Phases and Folding*. «XVII Internat. Geol. Congr., USSR, Abstracts of Paper», pp. 144-45 (1937).
- SCHOFFE (S. L.): *Geology of the Cedar Hills, Utah*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 62, pp. 619-46 (1951).
- SHERLOCK (R. L.): *The Permo-Triassic Formations—a World Review*. London (1948).
- SMITH (J. P.): *The Border Line between Paleozoic and Mesozoic in Western North America*. «Jour. Geol.», Vol. 9, pp. 512-21 (1901).
- SPIEKER (E. M.): *Late Mesozoic and Early Cenozoic History of Central Utah*. «U. S. Geol. Survey Prof. Papers», 205, pp. 117-61 (1946).
- *Sedimentary Facies and Associated Diastrophism in the Upper Cretaceous of Central and Eastern Utah*. «Geol. Soc. America Memoir», 39, pp. 55-82 (1949 A).
- *The Transition between the Colorado Plateaus and the Great Basin in Central Utah*. «Utah Geol. Soc. Guidebook», 4 (1949 B).
- *Review of Symphony of the Earth*, by K. H. F. UMBROVE: «Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.», Vol. 36, pp. 708-15 (1952).
- *Chronology in Geotectonics*. «Bull. Géodésique» (de l'Association Internationale Géodésique), No. 31, pp. 71-72 (1954).
- THOMAS (H. D.): *Phosphoria and Dinwoody Tongues in the Lower Chugwater of Central and Southwestern Wyoming*. «Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.», Vol. 18, pp. 1655-67 (1934).

- THOMAS (H. D.) and KRUEGER (M. L.): *Late Paleozoic and Early Mesozoic Stratigraphy of Uinta Mountains, Utah*. *Ibid.*, Vol. 30, pp. 1255-93 (1946).
- TUCKER (LE ROY): *Geology of the Scipio Quadrangle, Utah*. Ph. D. dissertation, Ohio State University (1954).
- YOUNG (R. G.): *Sedimentary Facies and Intertonguing in the Upper Cretaceous of the Book Cliffs, Utah-Colorado*. «Bull. Geol. Soc. America», Vol. 66, pp. 177-202 (1955).

Diciembre 1956

Investigaciones bioestratigráficas en el Jurásico, al
sur de la Sierra de la Demanda (N. de España)

POR

GERD WESTERMANN

562/567:551.762.234.1 Sierra de la Demanda

GERD WESTERMANN (*)

INVESTIGACIONES BIOESTRATIGRAFICAS EN
EL JURASICO, AL SUR DE LA SIERRA DE LA
DEMANDA (N. DE ESPAÑA)

PREÁMBULO DEL TRADUCTOR

En España se ha hecho todavía, desgraciadamente, muy poco trabajo de estratigrafía fina de gran detalle, del tipo que exigen los modernos conceptos de la paleogeografía y tectónica. Tiene ello varias causas entre las que destacan, a mi juicio, como más señaladas, dos. Por un lado, hay un gran desequilibrio entre el conocimiento general de las diversas regiones naturales de nuestro país. Algunas, como los Pirineos y parte de las Ibéricas, se acercan ya, salvo isleos, a un nivel relativamente elevado; otras, como las áreas paleozoicas y sus metamorfismos, en relación con las masas graníticas, y estas mismas, están a un nivel mucho más bajo de conocimiento general. Parece, por tanto, que sea más lógico, desde un punto de visto de la cartografía nacional, elevar y, sobre todo, uni-

(*) Versión directa del alemán, por J. M. Ríos, de la obra titulada «Biostratigraphische Untersuchungen im Jura südlich der Sierra de la Demanda (Nord Spanien)», aparecida en el «Geologisches Jahrbuch», tomo 70, páginas 519-534, octubre, 1955, en Hannover. Su traducción y publicación han sido expresa y amablemente autorizadas ambos por el autor y editor.

ficar el nivel de conocimiento general para poder presentar un conjunto equilibrado y una imagen más armónica y completa de la totalidad antes de pasar al análisis detallado de las partes. Pero las exigencias de trabajos de tipo industrial, o en otros casos la orientación de los geólogos y paleontólogos por una determinada especialidad, o trabajos de tesis, han dado origen a trabajos de estratigrafía fina, que son tan necesarios y descuidados. Por otro lado, y en realidad esta causa lo es también de la anterior, por diversas razones que no es de este lugar analizar, pero que en conjunto constituyen un obstáculo al fomento de las vocaciones y como consecuencia de las actividades geológicas, es demasiado reducido el número de profesionales dedicados a las tareas geológicas en país de tan compleja estructura. Falta geólogos y en mayor grado todavía, porque los obstáculos son aún mayores, paleontólogos, para llevar a cabo la enorme tarea planteada. Por consiguiente, y siempre desde un punto de vista de la cartografía oficial, en la alternativa de elección entre reconocimiento muy detallado de zonas locales, o la elevación del nivel general, de la forma más rápida posible en relación con las circunstancias económicas y medios puestos a disposición, parece natural que se atienda primero al conocimiento general. Ciertamente que en otros países éste está ya alcanzado, o al menos muy avanzado, pero el enjuiciar el estado de conocimiento del nuestro sería muy injusto no considerar la enorme diferencia de ambiente y circunstancias.

Contestamos así, de manera directa, a muchas críticas más o menos indirectas o veladas. No es que ignoremos el valor de este tipo de investigaciones. Es que entendemos que por ahora, y mientras no cambien las circunstancias, seríamos mejor los intereses del conocimiento geológico, atendiendo primero a cosas que estimamos más urgentes. No por ello sentimos menos interés por este

tipo de trabajos, muy al contrario. Los consideramos de verdadera necesidad para alcanzar el nivel de conocimientos geológicos que desearíamos para nuestro país. Y toda iniciativa para desarrollar este tipo de trabajos no tendrá con toda seguridad sino la mejor acogida posible en todos los ambientes geológicos, y desde luego, en el nuestro. Por esta razón he emprendido, con gran interés, la traducción de este trabajo.

J. M. Ríos

RESUMEN

Se investiga aquí la rica fauna de cuatro cortes jurásicos por lo que se refiere a su valor como capas-guía y a la relación entre sus asociaciones. Junto con las observaciones de orden litológico, se los convierte en cortes rectores que muestran, además de una división en zonas, una serie de fases tectónicas de las orogénesis paleoociméricas, y más especialmente la nueva fase de Hontoria. La fauna muestra sólo escasas relaciones mediterráneas y conexiones mucho más íntimas con respecto al mar mundial que al medio europeo.

INTRODUCCIÓN

Los trabajos de campo que condujeron a estas investigaciones fueron llevados a cabo en octubre de 1954, conjuntamente con el Sr. cand. geol. W. Huf, al que expresamos nuestro agradecimiento por su valiosa colaboración. Damos también las gracias al Profesor A. Bentz por su amable apoyo, y al Dr. cand. geol. Mensink por sus indicaciones de valor inmediato importante.

El objeto de este trabajo lo constituye la coordinación más posible mente exacta de algunos cortes jurásicos, que de esta manera se convierten en rectores de una región para la que el conocimiento de la estratigrafía fina todavía está en los comienzos.

La gran cantidad de ejemplares recogidos, que llega a miles, bien conservados y bien establecidos en sus horizontes, se determinó primeramente sólo por el criterio del valor que les correspondía entonces a los géneros y especies como fósiles guía de nivel. Sobre esos datos construiremos después un armazón bio-estratigráfico que permita reconocer movimientos tectónicos y sirva rápidamente para apoyar sobre él otros trabajos de campo.

I. SITUACION GEOLOGICA DE LOS CORTES

Las manifestaciones jurásicas de la región entre Burgos y Soria, en el Norte de España, pertenecen a una cobertura mesozoica y cenozoica caracterizada por una tectónica puramente germánica, que cubre al variscico de tipo alpino de las Cadenas Celtibéricas Nord Occidentales (fig. 1).

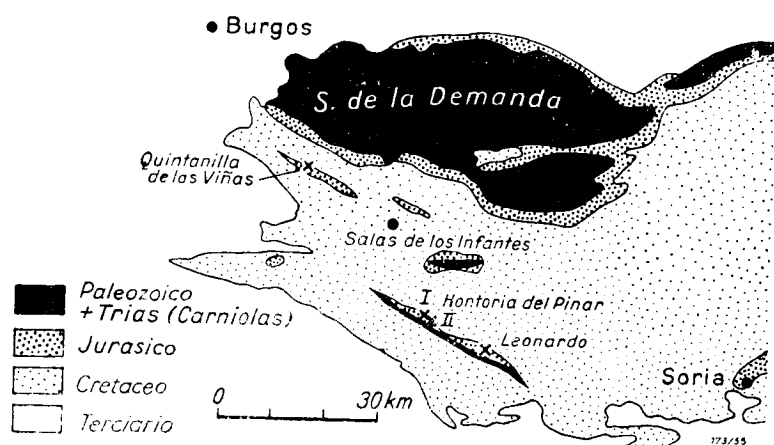


Fig. 1.—Mapa general de la zona de nuestros trabajos.

II. DIVISION EN ZONAS

La división en zonas se verificó apoyándose en la división *standard* dada por W. J. Arkell (1946) (fig. 3). Las «zonas» llevan los nombres de sus especies tipificadoras. Estas, sin embargo, no tienen todas el mismo valor por lo que se refiere a su capacidad como fósiles-guía, sino que unas caracterizan biozonas que corresponden, por consiguiente, a la duración de vida de las especies (zonas de *opalinum-sowerbyi*? *sauzei*? *subfurcatum* y *garantiana*) y otras solamente un seg-

mento de la «zona», que por consiguiente abarca esencialmente más que la duración de vida de la especie denominatoria (zonas de *murchisonae-humphriesianum* y *parkinsoni*). Estas últimas «zonas» representan, por consiguiente, «zonas de acumulación». La base de la divergencia reside, sobre todo, en el deficiente conocimiento de la duración de vida de sus especies nominativas.

En la región que consideramos se han subdivido, o reconocido indirectamente, las siguientes zonas nuevas:

Zona de *murchisonae*: *Ludwigia murchisonae* (Sow) se encontró asociada lo más a menudo, o por lo menos en la vecindad, de la *Ludwigia concava* (Bu) mucho más frecuente. No se presenta, sin embargo, ninguna de las Ludwigias «viejas» del grupo *tolutaria/stauffensis*, de modo que puede deducirse que éstas aquí, como en Europa media, están limitadas a la parte inferior de la zona de *murchisonae*, pero que faltan, sin embargo, a causa de hiato o transgresión. Las subdivisiones, por consiguiente, sólo se han determinado indirectamente y no deben por ahora designarse como zonas.

Zona de *sauzei* (con *Otoites pauper*): Del *Otoites sauzei* (Orb.) se encontró sólo un ejemplar dudoso. Por el contrario, es muy frecuente el *Otoites pauper* West que en la Alemania meridional se describe como la especie más frecuente y que se conoce también en Suiza y en el Cáucaso (Westermann 1954, página 109). La coetaneidad de *Otoites sauzei* y *O. pauper* queda así cubierta por su asociación en los Alpes Zuavos.

Zona de *parkinsoni* (en el sentido hasta ahora atribuido): Para la zona que se ha estudiado se puede emplear una subdivisión de tipo biozonar. Aquí tenemos también una separación entre las «viejas» Parkinsonias del grupo *acrisarietis/subarietis*, caracterizadas por sus costillas rectas y muy separadas, y las del grupo *parkinsoni* o «medio» caracterizadas por costillas de grosor medio, y arqueadas: de manera que podemos practicar una doble división de lo que hasta ahora

se consideraba como zona de *parkinsoni*. Análogamente a lo que ocurre en la Europa media se puede añadir, al parecer, todavía una tercera división con Parkinsonias «jóvenes» del grupo *friederici-agusti depressa*, que se caracteriza por sus costillas muy apretadas e intensamente arqueadas.

Estas divisiones pueden también considerarse como biozonas de *P. acris* Wetzel, *P. parkinosi* Sow y *P. Friederici-Augusti* Wetzel. Tal división se ha podido corroborar repetidamente en el Noroeste de Alemania.

III. CORTES

A. Corte de Quintanilla

Situado a unos 300-500 metros al Sur de la localidad de Quintanilla de las Viñas, ladera occidental, un kilómetro al Norte de la carretera a Salas de los Infantes (32 kilómetros al SE. de Burgos).

Bajo Cretáceo inferior terrígeno en posición tendida («Wealdense») aparece el Jura con una pendiente de 10 a 20° al S. en forma de medio anticlinal, estrecho, que se arrumba a lo largo de unos 20 kilómetros en dirección ONO-ESE. En su flanco septentrional se enfrenta de nuevo en trastorno longitudinal con el Cretáceo inferior (fig. 2 a).

Toarcense:

En la parte más baja yacen unos 10 metros de calizas margosas en estratificación compacta que comprende la fauna del Toarcense y, por consiguiente, pertenecen todavía al Lías.

- 3) *Pleydellia aalense* (ZIEF.)
Pseudogrammoceras (n. ?) sp., aff. *fallaciosum* (BAYLE)
 cf. *Pseudolioceras*

- Coeloceras* cf. *crassoides* (SIMPS.)
Pecten sp.
Ctenostreon pectiniforme (SCHLOTH.)
Terebratula sp.

Bajocense inferior.

Zona de *opalinum*: Hacia arriba la estratificación degenera rápidamente a calidad mucho peor, de manera que, coincidiendo más o menos con la primera aparición de *Ludwigia opalina* del contacto Lías-Dogger, comienzan margas calizas nudosas y margosas nodulares. Constituyen en todos los cortes la mayor parte del Lías superior y del Dogger inferior. Se encuentra aquí un sobrelape de *Pleydellia aalense* con *L. opalina*, lo que constituye una prueba de sedimentación ininterrumpida.

- 4) *Pleydellia aalense* (ZIEF.)
Pleydellia cf. *lotharingicum* (BRANCO)
Ludwigia costosa (QU.)
Ludwigia (Leioceras) opalina (REIN.)
Ludwigia (Leioceras) plicatella (BU.) BENFCKE
Hammatocheras (Parammatoceras) cf. rugatum (BU.)

Tres metros más arriba nos encontramos ya en la zona superior de *opalinum* con 5) *Ludwigia* cf. *uncinatum* (BU) y *Ludwigia (Leioceras) sp.*

Zona superior de *murchisonae*:

Puesto que 7 metros por encima encontramos *Ludwigia murchisonae*, podemos abrigar la sospecha de que haya una laguna entre 5) y 6), es decir, que falte la parte inferior de la zona de *murchisonae*, lo que pudo ser demostrado en otros cortes.

Sobre 20 metros de margo-calizas nudosas siguen 6 metros de calizas duras, en bancos compactos, que no dieron ninguna fauna, pero que quizá se encuentran ya, sin embargo,

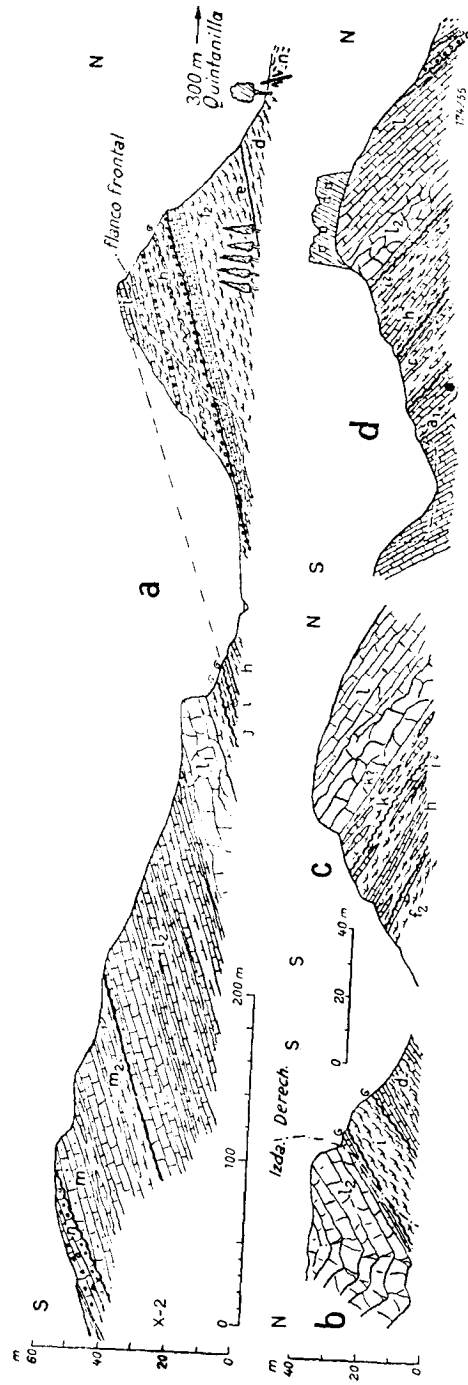


Fig. 2.—Representación gráfica de los cortes.

a) Quintanilla, b) Hontoria I, c) Hontoria II, d) San Leonardo.

ABREVIATURAS: a = Pliensbaq. sup., b = Pliensbaq. inf., c = Toarcense sup., d = Toarcense inf., e = *ophalinum*, f₁ = *murchisonae* inferior, f₂ = *murchisonae* sup., g = *soverbyi*, h = *sauzei*, i = *humphriesianum*, j = *subfurcatum*, k = *garantiana*, l₁ = *acris*, l₂ = *har-kinsoni*, l₃ = *friederici-augusti*, m₁ = Batonense inf., m₂ = Batonense medio, m₃ = Batonense sup., n = (retiáceo) inf.

en el Bajocense medio. La terminación la constituye un banco calizo de 0,6 metros de potencia, especialmente duro, meteorizando a colores amarillos, cuya superficie muestra una superficie de emersión muy bien desarrollada.

Bajocense medio.

Zona de *sauzei* (con *Otoites pauper*).

En un cemento calizo yacen fragmentos de calizas hasta del tamaño de un puño, de conformaciones muy desiguales, que dan la impresión de una karstificación intensa. Aparecen con enrojecimiento decreciente desde la superficie hacia el centro, muy intensamente agujereados por moluscos perforantes (*Gastrochaca?*) y anidados en parte por *Serpula flaccida* Gldf. En ellos se encontro una fauna de *Belemnopsis* cf. *canaliculata* (Schloth) y myidos. El *Belemnopsis* sólo empieza a aparecer en la zona de *sauzei*. Así es que los fragmentos calizos constituyen una base de transgresión por la zona de *sauzei*, cuya existencia encima está demostrada. Su enrojecimiento indica un clima semiárido, templado, al que estuvieron expuestos, bajo condiciones terrestres, los fragmentos calizos antes de que pudieran quedar perforados y recrecidos en aguas playeras.

En 1 a 2,5 metros sobre la base de la transgresión, las calizas margosas nodulares son extraordinariamente ricas en fósiles. Junto a los Ammonites guía de la zona de *sauzei* se encontraron, en número bastante predominante, *Sonninias* de tipos como los que describe P. Dorn (1935) procedentes de Alemania meridional, donde este género alcanza la parte inferior de la zona de *humphriesianum*. Por consiguiente, no es necesario contar con ningún pre-trabajamiento. Es interesante, además, la existencia, a nivel alto, de Fontannesias que describen Buckman y Arkell (1954), procedentes de la zona de *soverbyi* de Inglaterra y Australia.

- 7) *Otoites pauper* WESTERMANN
Otoites sp., aff. *sauzei* (ORB.)
Emileia brocchii (SOW.)
Emileia ex gr. *bulligera* BV.
Stephanoceras (*Skirroceras*) cf. *freycineti* (BAYLE.)
Sonninia furticarinata (QU.)
Sonninia jugifera WAAGEN
Sonninia cf. *tessoniana* (ORB.)
Sonninia cf. *propinquans* (BAYLE.)
Sonninia cf. *edouardiana* (OPP.)
Sonninia (*Papilliceras*) *arenata* (QU.)
Fontannesia sp.
Witchellia spp.
? *Liparoceras*
Oppelia subradiata (OPP.)
Strigoceras strigifer (BU.)
Sphaeroceras sp., aff. *brongniarti* (SOW.)
? *Hammatoceras*
Nautilus sp.
Belemnopsis canaliculata (SCHLOTH.)
Cymatorhynchia quadriplicata (ZIET.)
Acanthotyris spinosa (SCHLOTH.)
Cincta sp.
Lobothyris ventricosa (ZIET.)
Pleurotomaria ornata SOW.
cf. *Procerithium*
Chlamys cf. *rosimon* (ORB.)
Chlamys (cf. *Aequiptecten*) cf. *acuticosta*
Ctenostreon pectiniforme (SCHLOTH.)
Lima (*Plagiostoma*) cf. *semiculare* (GLDF.)
Myídos
Nucula

A metro y medio por encima aparece un banco, cuya base está constituida por un verdadero y desordenado «cementerio» de *Belemnopsis canaliculata*, en que de nuevo hay una rica fauna de la zona de *sauzei*, pero en la que están ahora en retroceso las «viejas» *Sonninias*. Sólo las grandes *Sonninia furticarinata*, de 15 a 20 centímetros de diámetro, muestran intensas reformaciones que quizá son debidas a transporte, quizá son originadas por reciente reabsorción dentro de su matriz consistentemente margosa.

- 8) *Otoites pauper* WEST.
Otoites sp., aff. *contractus* (SOW.)
Emileia grandis (QU.)
Emileia cf. *brocchii* (SOW.)
Sonninia cf. *pinguis* (ROEM.)
Sonninia cf. *furticarinata* (QU.)
Sonninia sp., aff. *propinquans* (BAYLE.)
? *Fontannesia*
Oppelia subradiata (SOW.)
Strigoceras strigifer (BU.)
Belemnopsis canaliculata (SCHLOTH.)
Lima sp.
Entolium reneckeri (OPP.)

En los siguientes seis metros se encuentran margas calizas nodulosas en las que de nuevo hallamos solamente fósiles aislados.

- 9) *Strigoceras* sp.
Rhynchonella cf. *quadriplicata* ZIET.
Terebratula sp.
? *Zeilleria*

Ahora se intercala un paquete de 0.6 metros de espesor de bancos de caliza gris que están enajados de cantos rojos. Estos son, al menos en su mayor parte, restos de fósiles indeterminables, completamente rodados, que con anterioridad a su nueva integración en los estratos han sido expuestos a un clima árido o semiárido. Además, encontramos de nuevo una rica fauna de la zona de *sauzei*, en la que por primera vez tiene intensa participación la *Sonninia pinguis*, mientras que las «viejas» *Sonninias* se encuentran en retroceso. Aquí aparece también el *Normannites* cf. *braikenridgii* (s. str. ?) y, al parecer, *Epalxites*, que se conocen procedentes de las mismas capas del N. de Alemania (Westermann, 1954). Sorprende la gran rareza de *Megatheutis* con respecto al más frecuente *Belemnopsis*. Al parecer, existen para ello en este caso razones faciales.

- 10) *Otoites* sp.
Emileia cf. *bulligera* BU.
Emileia sp.
Normannites cf. *braikenridgii* (SOW.)
 cf. *Epaxites*
Sonninia pinguis (ROEM.)
Sonninia propinquans (BAYLE)
Sonninia sowerbyi (MILLER) ?
Sonninia cf. *furticarinata* (QU.)
Sonninia n. sp.
Stephanoceras (*Skirroceras*) *macrum* (QU.)
Oppelia subradiata (SOW.)
Strigoceras strigifer (BU.)
Megateuthis sp.
Belemnopsis canaliculata (SCHLOTH.)
Pleurotomaria sp.
Acanthothyris spinosa (SCHLOTH.)
Pentacrinus sp.

En las margas calizas nodulares suprayacentes se encuentra sólo una fauna pobre que, con sus «viejas» *Sonninias* y el *Stephanoceras macrum*, que al parecer se limita a la zona de *sauzei*, permiten suponer que se trata en efecto de ella.

- 11) *Stephanoceras* (*Skirroceras*) *macrum* (QU.)
 ? *Epaxites*
Sonninia cf. *propinquans* (BAYLE)
Sonninia cf. *furticarinata* (QU.)
Sonninia cf. *edouardiana* (ORB.)

Zona de *humphriesianum*.

El siguiente banco calizo, desprovisto de fósiles, representa quizá el límite de la zona de *humphriesianum* que en todo caso es de muy reducido espesor. Pero es más probable que se limite a los tres metros de caliza banqueada que muestra, junto a una fauna representante de la totalidad de la zona de *humphriesianum*, indicios de re-trabajamiento de la zona de *sauzei*. Próximo a la base se recogió *Emileia* sp y *Stemmatoceras* cf. *frechi*, en las capas próximas, cuya presencia en la zona de *sauzei* se manifiesta como probable por

comparación con otros cortes (pág. 201). Incluso no podemos rechazar la idea de una transgresión de la (sub) zona de *bladgeni*, allí todavía hipotética, puesto que inmediatamente debajo se encontró *Teloceras* cf. *multinodum*.

- 12) *Teloceras* cf. *multinodum* (QU.)
Stemmatoceras cf. *frechi* (RENZ)
Hinsaites latansatus (BU.)
Hinsaites formosus (BU.)
Normannites braikenridgii cf. *ventriplanus* WEST.
Emileia sp.
Oppelia subradiata (SOW.)
Chondroceras n. sp.
 cf. *Phylloceras*
Lobothyris ventricosa ZIEF.
Rhynchonella sp.
Chlamys cf. *rosimon* (ORB.)
 cf. *Plicatula*
 cf. *Pleuromya*

Bajocense Superior.

Zona de *sub-furcatum*:

Sobre los bancos calizos, entre los cuales se intercalan, hacia arriba, bancos margosos, siguen cinco metros de margas pardo-amarillentas, finamente arenosas y blandas, con dos bancos más duros. Uno de ellos yace en la base y suministra una rica fauna de la zona de *subfurcatum* con las *Garantianas* «viejas» que se conocen en estas mismas capas en el N. de Alemania (Bentz, 1924, 1928; Wetzel, 1954).

- 13) *Strenoceras* cf. *bajocense* (DEFER.)
Spiroceras cf. *bifurcatum* (QU.)
Garantiana (*Orthogarrantiana*) cf. *densicosta* (QU.)
Bigotites cf. *martiusi* (ORB.)
Cadomites sp.
Sphaeroceras sp.
Oppelia cf. *subradiata* (SOW.)
Belemnopsis canaliculata (SCHLOTH.)
Rhynchonella sp.
 Espongiarios

Zona de *acris*:

El segundo banco mecánicamente trabajado yace 2,0-2,4 metros por encima y muestra, junto a una fauna parecida, también Parkinsonias «viejas» del grupo *acris* con carácter transgresivo. No se encuentran Garantianas más modernas del grupo *garantiana*, de modo que hay que contar aquí con un hiato que abarca la zona de *garantiana*.

- 14) *Parkinsonia* spp., ex gr. *acris* WETZ., abundantes.
Strenoceras cf. *bajocense* (DEFR.)
Hinsaites cf. *vulgaricostatus* WEST.
Cadomites cf. *orbigny* GROSS.
Bigotites spp.
Nautilus sp.

Las margas pardo-amarillentas, arenosas, son sustituidas de repente por tres metros de margas grises, blandas y arenosas, que únicamente contienen grandes esponjas (15). Tenemos aquí ya una formación de aguas someras de características casi arrecifales, que es la introducción de la facies de arrecifes.

Siguen ocho metros de calizas de masa de un arrecife de esponjas.

Zona de *parkinsoni* (s. str.):

Este arrecife viene relevado por 30 metros de margas y de calizas mal estratificadas, que alternan entre ellas de decímetro en decímetro o hasta de metro en metro, y en ellas, así como en el límite con las capas del cubriente, constituido por bancos gruesos de calizas de 10 metros de espesor, se encontraron algunas Parkinsonias grandes del grupo *parkinsoni*.

No sabemos si los bancos calizos pertenecen a la zona de *friederici-augusti*, cuya existencia aún no ha sido demostrada; en cualquier caso hay que colocarlas en la zona de *parkinsoni*.

Batonense medio (?):

Los próximos ocho metros de margas contienen en su tercio inferior una fauna muy parecida a la de las «capas de *varians*» del dominio facial rauracense, con gran predominio de braquiópodos, pero también algunos Ammonites, de entre los cuales el *Micromphalites* nos indica el Batonense medio.

- 16) *Micromphalites* sp.
Pseudoperisphinctes cf. *rotundatus* (J. RÖM.)
Perisphinctes spp.
Rhynchonelloidella alemanica (ROLL.)
Cymatorhynchia quadriplicata (ZIEGL.)?
Ferebratula sp.
cf. *Modiola*
Pholadomya cf. *bellona* ORB.
cf. *Pleuromya*
Gresslya cuneiformis J. RÖM.
Ceratomya cf. *cossmanni* LISS.

Por encima aparecen, por primera vez, calizas arenosas; y después de una alternancia caliza-marga, termina el Jura con unas calizas arenosas de siete metros de potencia, que en su parte superior se vuelven en grado incrementado, más básicamente arenosas. Por consiguiente, se hace netamente patente la existencia de una regresión. La pobre fauna de braquiópodos del banco más alto pertenece todavía al Batonense. Posiblemente el actual límite superior del Jura corresponde al comienzo de un hiato.

Cretáceo inferior:

El Cretáceo inferior («Wealdense») transgrede mediante varios metros de potencia de conglomerados bastos y abigarrados y arkosas y conglomerados de material autóctono

Por encima siguen arcillas rojas potentes con bancos de arenisca y conglomerado.

B. Corte de Hontoria I

Situado cinco kilómetros al O. de la localidad de Hontoria del Pinar, cantera en la línea del ferrocarril de Salas de los Infantes a Soria, a kilómetro y medio al N. de la carretera (65 kilómetros SO. de Burgos).

El afloramiento pertenece a otro anticlinal del Jura, igualmente estrecho y estirado, que ofrece, en cambio, vergencia Norte y delimitación meridional mediante un cabalgamiento sobre Cretáceo inferior. La margen septentrional muestra una posición levantada de tipo flexura, y plegamiento de las calizas compactas, o en gruesos bancos, de la zona de *parkisoni* (fig. 2b).

Toarcense superior y Bajocense inferior:

En la parte más baja yacen algunos metros de margas calizas y calizas margosas, en parte nodulares en estratificación compacta que contienen una fauna del Toarcense superior y del Bajocense inferior y que, sin embargo, no contienen Ludwigias del grupo *sinonjtolutaria*. En la otra margen del valle, o margen occidental, pudo observarse la superposición de la parte superior de la zona de *murchisonae* sobre el Bajocense más bajo o sobre el Toarcense más alto. Este tiene allí cerca de cinco metros de potencia, pero en la cantera no está apenas más que en indicio.

- 35) *Dumortieria* sp.
- Hildoceras* sp.
- Haugia* sp.
- Pleydellia aalense* (ZIET.)
- Pleydellia maetra* (DUM.)

- Ludwigia* sp., aff. *murchisonae* (SOW.)
- Ludwigia concava* (BE.)
- Ludwigia (Leioceras)* sp.
- Hammatoceras* sp.
- Rhynchonella* sp.
- Cerebratula* sp.
- Pleuromya* sp.
- Modiola* sp.
- Pleurotomaria* sp.

Bajocense Medio:

Zona de *humphriesianum*:

La zona de *humphriesianum* transgrede mediante discordancia angular de unos 5°, en cuya base yace un emplasto de Ammonites, de unos 5 a 10 centímetros de grosor. Los fósiles, embebidos en las margas, están distintamente conservados como núcleos corroídos de margas calizas, y siempre intensamente comprimidos, sin que, sin embargo, se manifieste una dirección definida predominante. No se encuentran *Otoites*, *Emileia* u otras formas de la zona de *suazei*, de manera que parece corresponder a un hiato.

- 38) *Stephanoceras* cf. *nodosum* (QU.)
- Stephanoceras* spp.
- Teloceras* sp.
- Itinsaites itinsae* McLEARN
- Itinsaites crickmayi* (McL.)
- Itinsaites mackenzii* (McL.)
- Itinsaites varicosatus* WEST.
- Epalxites anceps* (QU.)
- Epalxites* cf. *laticostatus* WEST.
- Epalxites* cf. *lepsiisi* (GILLET)
- Nautilus* sp.
- Lobothyris ventricosa* (ZIET.)
- Rhynchonella* sp.
- Chlamys* cf. *ambigua* (MÜ.)
- Chlamys* cf. *tuberculosa*
- Camptonectes lens* (SOW.)
- Cidaris* sp.
- Serpula* cf. *flaccida* GILDF.

Los siguientes 12 metros de calizas margosas, pobres en fósiles, de estratificación gruesa o nodular, hay que colocarlos en la zona de *humphriesianum*.

Bajocense superior:

Siguen tres metros de margas arenosas, amarillas, con banquitos aislados, delgados y dolomíticos. En ellos se encuentra una fauna extraordinariamente rica que corresponde casi a todo el Bajocense superior, y en menor cantidad a la zona *humphriesianum* en yacimiento, por lo menos, intensamente condensado y además, al parecer, completamente mezclado. Se trata, por consiguiente, de un re-trabajamiento en la base de la transgresión de la zona de *parkinsoni*. No se encuentra *Parkinsonia* del grupo *acris*, sino en un ejemplar dudoso, de manera que parece probable la existencia de un hiato correspondiente a la zona de *acris*.

- 39) *Strenoceras bajocense* (DEFR.)
Strenoceras subfurcatum (ZIET.)
Strenoceras (Epistrenoceras) semicostatum BENTZ
Strenoceras (Epistrenoceras?) spp.
Garantiana dubia (QU.)
Garantiana (Garantiana) spp.
Garantiana (Orthogarantiana?) sp.
Garantiana (Subgarantiana) cf. trauthi BENTZ
Garantiana (Subgarantiana) n. spp., aff. subgaranti WETZ.
Garantiana (Pseudogarantiana) dichotoma BENTZ
Garantiana (Pseudogarantiana), n. spp.
Garantiana? (Pseudogarantiana?) sp.
Cadomites cf. orbignyi GROSS.
Cadomites cf. deslongchampsii (DEFR.) ORB.
 cf. *Cadomites* sp.
Stemmatoceras frechi (RENZ)
Bigotites spp.
Itinsaites itinsac MCL.
Normannites sp., aff. *orbignyi* BU.
Polyplectites dorni ROCHÉ
Spiroceras bifurcatum annulatum DESH.
Apsoroceras baculatum (QU.)
Apsoroceras obliquicostatum (QU.)
Parkinsonia ex gr. parkinsoni (SOW.)

Parkinsonia ex gr. acris WETZ.?
Oppelia subradiata (SOW.)
Strigoceras truellei (ORB.)
Lissoceras oolithicum (ORB.)
Phylloceras sp.
Belemnopsis canaliculata (SCHLOTH.)
Terebratula omalogastyr ZIET.
Terebratula cf. matisconensis LISS.
Rhynchonella cf. quadriplicata ZIET.
Rhynchonella cf. matisconensis LISS.
Pleurotomaria spp.
Trochus sp.
Ctenostreon pectiniforme (SCHLOTH.)
Lima sp.
 cf. *Pteria* sp.
Isocardia sp.
 Myidos.
Rhabdocidaris maximus (GLDF.)
 Cidarites regulares e irregulares.
Terebratula cf. xentricosa ZIET.
Terebratula cf. sphaeroidalis SOW.

Por encima yacen solamente unos 20 metros de calizas jurásicas en gruesos bancos, o casi en masa, que igualmente deben de colocarse en la zona de *parkinsoni*. La transgresión cretácea taja aquí, por consiguiente, todo el Dogger superior.

C. Corte de Hontoria II

Situado tres kilómetros al O. de la localidad de Hontoria del Pinar, un kilómetro al N. de la carretera (67 kilómetros al SE. de Burgos).

La disposición tectónica es parecida a la de Hontoria I, que está únicamente a distancia de dos kilómetros, pero aquí no se pudo demostrar la existencia ni de plegamiento ni de flexura (fig. 2c).

Pliensbaquense superior y Toarcense:

Sobre unas margas nodulosas del Pliensbaquense superior (Domerense), causantes de la existencia de un vallecito transversal en que hay *Amaltheus* de diversas especies, siguen en la ladera margas calizas nodulares que en su parte inferior todavía pertenecen al Toarcense inferior, pero que en la mayor parte de su potencia, de unos 15 metros, corresponden, sin embargo, al Toarcense superior, y faunalmente aún, a la zona de *opalinum* del Bajocense inferior.

- 19) *Harpoceras bicarinatum* (ZIET.)
Haugia oder *Lillia* spp.
Hildoceras spp.
Dumortieria spp.
Hammatoceras (*Parammatoceras*) cf. *rugatum* (Br.)
Hammatoceras ex gr. *insigne* (ZIET.)
Pleydellia aalense (ZIET.)
Pleydellia cf. *mactra* (DUM.)
Ludwigia (*Leioceras*) *opalina* (REIX.)
Belemnites sp.
Rhynchonella sp.
Terebratula sp.
Acanthothyris spinosa (SCHLOTH.)
Pecten sp.
Pleurotomaria sp.

Bajocense inferior:

Zona de *opalinum*:

En el vértice de la colina existen 5 a 10 metros de zona de *opalinum*.

- 20) *Ludwigia* (*Leioceras*) *opalina* (REIX.)
Arctostrea sp.
Pleurotomaria sp.

Zona superior de *murchisonae*:

Al O. del arroyo la ladera contiene, en su parte más baja, margas calizas nodulares con *Ludwigia concava*, perteneciente a la parte más alta del Bajocense inferior.

- 21) *Ludwigia concava* (Br.)
Ludwigia cf. *concava*
Ludwigia murchisonae (Sow.)?

Dos metros por encima yace un banco duro de caliza con superficies de omisión.

Bajocense Medio.

Zona de *sauzei*:

Sobre la superficie de omisión yacen cinco metros de margas nodulares que hacia arriba pasan gradualmente a margas calizas. En metro y medio presenta una fauna de la zona de *sauzei* que, sin embargo, contiene ya también el *Stemmatoceras* cf. *frechi* (igual a *S. coronatum* Qu). Una presentación tan prematura es, sin embargo, completamente posible puesto que el *S. frechi* se considera como el más viejo entre los *Stemmatoceras* y se conoce en Alemania meridional en las «arcillas de Giganteus» (Weisert, 1932). Por consiguiente, falta también la zona de *soverbyi*.

- 22) *Emileia* cf. *brocchii* (Sow.)
Stemmatoceras cf. *frechi* (REIX.)
Fontannesia sp.
Witchellia sp.
Nautilus sp.

Siguen tres metros de calizas duras, en gruesos bancos, que no dieron ninguna fauna. Por encima yacen de nuevo ocho metros de margas calizas nodulares con bancos sueltos

de calizas margosas. A partir de estos hay un banco de cinco metros y medio que contiene una fauna pobre que, al parecer, todavía se debe colocar en la zona de *sauzei*.

- 23) *Stemmatoceras frechi* (RENZ)
Stephanoceras (*Skirroceras*) sp.
 cf. *Fontannesia* sp., aff. *frechi* (CRICK)

Bajocense superior:

Zona de *garantiana*:

Un banco re-trabajado, rico en fósiles (24 a), termina el espesor de ocho metros de margas amarillas o de color sucio amarillento, arenosas, que contienen algunos bancos dolomíticos de color amarillo huevo. Especialmente en los bancos más firmes se presentan ooides de limonita del tamaño de una cabeza de alfiler. A los cinco metros yace de nuevo, en un banco de caliza margosa de 0,25 metros de potencia, un enriquecimiento fósil (24 b), que tanto puede ser interpretado como el banco basal, o solamente como un banco de re-trabajamiento. Ambos pertenecen a la zona de *garantiana* y poseen la fauna de las zonas de *subfurcatum* y *garantiana*, pero ninguna huella de otra más antigua.

- 24 a) *Strenoceras bajocense* (DEFR.)
Garantiana (*Subgarantiana*) spp.
Garantiana (*Pseudogarantiana*) *dichotoma* BENTZ
Parkinsonia inferior BENTZ
Bigotites spp.
Cadomites sp.
Strigoceras cf. *gracile* (QU.)
Oppelia cf. *subradiata* (SOW.)
Nautilus sp.
Lima sp.
- 24 b) *Strenoceras bajocense* (DEFR.)
Strenoceras cf. *subfurcatum* (ZIET.)
Strenoceras sp.
Spiroceras ? *fourneti* ROMAN & PIT. (? WEST.)
Garantiana (*Subgarantiana*) cf. *coronata* WETZ.

- Garantiana* (*Subgarantiana*) cf. *depressa* WETZ.
Garantiana (*Subgarantiana*) cf. *subgaranti* WETZ.
Garantiana (*Subgarantiana*) cf. *trauthi* BENTZ
Garantiana (*Garantiana*) sp., aff. *dubia* (QU.)
Garantiana (*Pseudogarantiana*) *dichotoma* BENTZ
Garantiana (*Pseudogarantiana*) cf. *minima* WETZ.
Garantiana (*Pseudogarantiana* ?) n. sp.
Cadomites cf. *orbigny* GROSS.
Cadomites cf. *deslongchamps* (DEFR.) ORB.
Bigotites sp.
Nautilus sp.
Belemnopsis cf. *beyrichi* (OPP.)
Terebratula sp.
Madiola sp.
Isocardia sp.
Pleurotomaria sp.

- 24 a + b) *Strenoceras bajocense* (DEFR.)
Strenoceras subfurcatum (ZIET.)
Strenoceras (*Epistrenoceras* ?) sp.
Apsorroceras sp.
Garantiana dubia (QU.)
Garantiana (*Pseudogarantiana*) *dichotoma* BENTZ
Garantiana (*Pseudogarantiana*) n. spp.
Bigotites spp.
Cadomites cf. *orbigny* GROSS.
 cf. *Polyplectites*
Strigoceras cf. *gracile* (QU.)
Terebratula sp.
Rhynchonella sp.

Zona de *parkinsoni*:

Sobre las margas amarillas aparecen, también aquí, de repente, calizas compactas en masa. Sin embargo, parece faltar una hilada fosilífera de re-trabajamiento en las margas. Tampoco pudo encontrarse fauna alguna en las calizas. Es posible que aquí comience ya la facies arrecifal en la zona de *garantiana*, de manera que las Parkinsonias no llegaron a florecer. La potencia de las calizas suman unos 20 a 30 metros.

D. Corte de San Leonardo

Localidad situada a 500 metros al O. y al S. de la villa de San Leonardo (76 kilómetros al SE. de Burgos).

El dispositivo estructural corresponde por completo al de Hontoria II (fig. 2d). El hallazgo de este corte hay que agradecerlo al señor cand. geólogo Mensink.

Pliensbaquense más bajo.

Zona de *jamesoni*:

En las canteras situadas al SO. de las ruinas del castillo de San Leonardo están muy bien puestos de manifiesto los bancos más altos de las carniolas, constituidas por bancos gruesos y compactos de calizas. Las carniolas se colocan, a consecuencia de la falta de fósiles, en el límite Triás superior. Láas inferior.

Mientras que las calizas grises, bien banqueadas, de la falda meridional del pequeño vallecito no contienen todavía fósiles los 14 metros más altos al pie de la ladera septentrional contienen, sin embargo, en primer lugar, braquiópodos como *Spiriferina laevigata* Qu. (25), y finalmente, también Ammonites de la zona de *jamesoni* del Pliensbaquense más bajo (Charmutense inferior).

- 26) cf. *Uptonia bronni* (ROEM.)
Holcoteuthis sp.
Lobothyris punctata (SOW.)
Terebratula sp.
Cincta numismalis (VALENC.)
? *Piarorhynchia variabilis* (SCHLOTH.)
Rhynchonella cf. *calcicosta* (QU.)
Plicatula spinosa (SCHLOTH.)
Pholadomya sp.
Gresslya sp.

Siguen cinco metros de margas nodulares y cinco metros de calizas mal blanqueadas, cuya fauna es algo más rica en cefalópodos y que pertenece igualmente a la zona de *jamesoni*.

- 27) *Uptonia bronni* (SOW.)
Uptonia jamesoni (SOW.)
Aegoceras spp.
cf. *Arietoceras* sp.
Lobothyris punctata (SOW.)
? *Piarorhynchia variabilis* (SCHLOTH.)
Chlamys (Aequipecten) acuticosta (LAM.)
Ceratomya sp.
Pholadomya decorata ZIEF.
Myidos
cf. *Corbula* sp.
Gryphaea cymbium GLDF.

Toarcense inferior:

Sin que se aprecie cambio petrográfico visible sigue a estas margas calizas, con el metro más alto, al Toarcense inferior. Por consiguiente faltan varias zonas.

Las margas y banquitos calizo-margosos, aislados, nodulares, con 25 metros de potencia, contienen una rica fauna del Toarcense inferior. Es notable la presencia de Hildocera-tidos gigantescos. Hacia arriba aumenta la proporción de los bancos de calizas margosas, que terminan con un grueso banco y, finalmente, con un metro de margas calizas arenosas; son manifestaciones claras de una regresión.

- 28) *Harpoceras* spp.
Hildoceras cf. *borreale* (SEEB.)
Hildoceras sp., aff. *bifrons* (BRUG.)
Hildoceras sp.
Dactyloceras sp.
Hammatoceras sp.
Spiriferina sp.
Terebratula sp.
Rhynchonella sp.
Ctenostreon pectiniforme (GLDF.)
Chlamys (Aequipecten) sp.
Lima sp.

Bajocense medio.

Zona de *sauzei*:

Sobre el Toarcense inferior transgrede la zona de *sauzei* con dos metros de margas arenosas. En la base se encontraron *Otoites* o *Emileia*. Siguen dos metros de margas calizas, en bancos compactos, que contienen una fauna pobre, igualmente perteneciente a la zona de *sauzei*.

- 30) *Sonninia trigonata* (QU.)
Stephanoceras (Skirroceras) jreycinetti (BAYLE)

Los bancos calizos, con cinco metros de espesor, que siguen, son también pobres en fósiles como lo son los 10 metros de marga con algunos banquitos de margo-calizas, por encima. En la parte más alta yacen calizas margosas nodulares de un metro de espesor. Esta parte del corte se puede coordinar muy bien petrográficamente con la del Hontoria II, situado a distancia de siete kilómetros, y equivale a ella casi exactamente en sus espesores.

Zona de *humphriesianum* (?).

La existencia de la zona de *humphriesianum* tampoco pudo ser probada aquí, como no lo pudo ser en el corte de Hontoria II. Posiblemente le corresponde la parte superior de las margas. Pero como tampoco pudo encontrarse, en la hilada re-trabajada del Bajocense superior rica en fósiles, la zona de la fauna de *humphriesianum* de Hontoria, afamada por su riqueza, es muy probable su falta total a causa de hiato.

Bajocense superior.

Zona de *parkinsoni*:

Siguen dos metros de margas amarillas arenosas, con bancos de dolomías cavernosas y brechoides. En estas capas

pudimos recoger una fauna (frente a las ruinas del castillo) que se manifiesta como hiladas de re-trabajamiento de la zona *Parkinsoni* transgresiva, mediante la presencia de dos Parkinsonias del grupo parkinsoni, una de ellas perteneciente, con toda seguridad, a la roca in situ.

- 31) *Strenoceras subfurcatum* (ZIET.)
Strenoceras bajocense (DEFER.)
Strenoceras sp.
Spirocenas bifurcatum (QU.)
Garantiana cf. *garantiana* (ORB.)
Parkinsonia ex gr. *parkinsoni* (SOW.)
Bigotites sp.
Ferebratula omalogastyr ZIET.
Goniothyris phillipsi (MORRIS)
Lobothyris ? cf. *ventricosa* ZIET.
Rhynchonella cf. *matisconensis* LISS.
Pecten sp.

Las calizas en masa que siguen por encima son todavía algo arenosas en la base. En 1-5 metros (32) se encontró, como también en las calizas mal banqueadas a 10 metros (33), una zona de braquiópodos con raras Parkinsonias del grupo *parkinsoni*.

- 32) *Parkinsonia* ex gr. *parkinsoni* (SOW.)
Belemnopsis canaliculata (SCHLOTH.)
Pentacrinus sp.
Spongia
- 33) *Parkinsonia* ex gr. *parkinsoni* (SOW.)
Belemnites sp.
Goniothyris phillipsi (MORRIS)
Cincta sp.
Rhynchonella spp.
Chlamys spp.
Myidos
Pentacrinus sp.
grandes esponjas

Siguen todavía 20 metros de calizas banqueadas y finalmente estratificadas, con escasas hiladas margosas, que mostraron su pertenencia al Bajocense superior por la existencia

de *Lobothyris ventricosa* (Ziet) (34) próximas al límite del cubriente.

IV. RESULTADOS

A. Faunas y litofacies

La asociación de faunas muestra una influencia mediterránea sorprendentemente reducida, con un total de dos pequeños *Phylloceras* y un *Strenoceras* (*Epistrenoceras*), de modo que puede considerarse completamente como fauna germánica de mar somero. Una excepción constituyen los representantes de mar abierto muy poco conocidos en Europa Media, es decir, las *Sonninas* sin nudos, de los tipos *Fontannesia* y *Witchellia* del Bajocense medio y *Cadomites*, del superior. Por consiguiente, hubo también aquí mejor comunicación con el mar abierto que en Europa Media.

Falta, por el contrario, casi totalmente, el *Dorsetensia*, que tan abundante es en la zona de *humphriesianum* de Europa Media. Parece, por consiguiente, procedente buscar la causa en la falta de facies de aguas tranquilas, a las que tan ligadas parecen estar las *Dorsetensias*, por lo menos en Alemania noroccidental (Westermann, 1954, pág. 46).

La litofacies corresponde a la de un mar de zócalo con calizas margosas y margas calizas nodulares. Estas rocas substituyen, en el Pliensbaquense más bajo, a los bancos de calizas duras del nivel de «carniolas» y alcanzan, con intercalaciones de margas o de bancos calizos de algunos metros de potencia, en el mejor de los casos, hasta la base del Bajocense superior. Aquí continúa, tras unos pocos metros de sedimento litoral clástico-químico con sello netamente salino, por una facies de arrecifes de espongiarios bajo forma de calizas en masa. Las margas intercaladas de esponjas, de Quintanilla, representan sólo una peculiaridad local en

forma de laguna rellena con detritus arrecifal. En San Leonardo, la base del arrecife calizo es todavía de carácter arenoso. El arrecife ha podido enraigar allí, por consiguiente, a pesar de la acumulación de arena. En Hontoria II parecía comenzar ya el arrecife en la zona de *garantiana*, pero es posible también que la transgresión de *parkinsoni* se haya constituido allí muy defectuosamente.

Se hace notar una traslación de facies del Oeste hacia el Este, puesto que el arrecife se inicia ya en Quintanilla con la zona de *acris*, mientras que en la del *parkinsoni*, en que

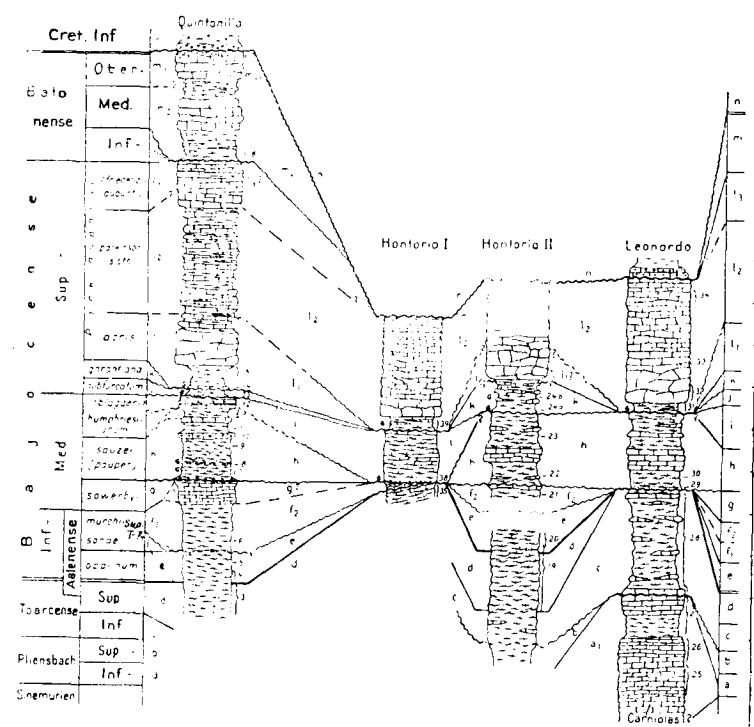


Fig. 3

Coordinación de zonas de las columnas estratigráficas (con perfiles de meteorización). El nivel de referencia es la transgresión de Bajocense medio, relacionado con la fase de Hontoria.

se constituyen los arrecifes en San Leonardo y en Hontoria (II), ya aparecen en Quintanilla calizas y margas, dando paso por consiguiente, de nuevo, a una sedimentación clásico-química.

Esta se inicia más tarde, en Hontoria y San Leonardo, en proporción reducida, y con ella termina el poco Jura allí existente con la zona de *parkinsoni* o *friederici-augusti*.

Sólo al NO., en Quintanilla, hay todavía Batonense, al parecer en su parte media, que se inicia con margas. El aumento rápido del tamaño y más basto carácter de los elementos clásticos componentes que se nota hacia la parte del cubriente, permite reconocer una regresión en incremento.

B. Tectónica

Con fuerza y claridad inesperadas se manifiesta en los cuatro cortes del Lias-Dogger la existencia de lagunas estratigráficas y transgresiones. Los movimientos tectónicos correspondientes pertenecen a las fases paleo-kimméricas, que hasta ahora no se habían mostrado en la Celtibérica, dentro de mi conocimiento.

1. Lias.

El Toarcense inferior yace sobre el Plienbaquense más bajo, sin que existan, sin embargo, manifestaciones netas de trabajamiento o discordancias angulares. Esta dudosa transgresión no se ha observado hasta ahora más que en el corte de San Leonardo. Los otros cortes yacen estratigráficamente más altos.

2. Dogger.

a) *Bajocense inferior* (= *Aalenense medio y superior*).

La zona superior de *murchisonae* transgrede (?), con una mayor o menor omisión de capas, sobre el Bajocense más bajo o sobre el Toarcense más alto.

b) *Bajocense medio, fase de Hontoria*.

En la zona de *sowerbyi* o parte inferior de la de *sauzei* tiene lugar la orogénesis más intensa intra jurásica perceptible en la zona investigada. Llegó a originar incluso emergencia, en el corte de Hontoria I de que toma el nombre la fase, con un levantamiento de unos cinco grados (ángulo de discordancia). Después de esta fase de Hontoria tuvo lugar, coincidiendo habitualmente la zona de *sauzei*, la transgresión renovada, cuya base está caracterizada por cantos enrojecidos en condiciones terrestres o por hormigón de fósiles que alcanzan hasta la parte más baja del Toarcense superior. Sólo en el corte Hontoria I no tiene lugar la transgresión, todavía, hasta la zona de *humphriesianum*, mientras que la de *sauzei* corresponde evidentemente a un hiato. Esta transgresión, anormalmente tardía, se puede explicar con naturalidad mediante la existencia de un relieve alzado (¡discordancia!).

La fase de Hontoria corresponde a la transgresión de *humphriesianum* sobre la zona más baja de *sauzei* o de *sowerbyi*, observada en Warzen de Alfeld a 40 km. al S. de Hannover (Westermann, 1954, pág. 44).

c) *Bajocense superior, Fase Estilica*.

Al final del Bajocense medio tiene lugar, en general, una intensa regresión que igualmente produce emersiones gene-

rales. Las zonas de *subfurcatum* y de *garantiana* se presentan sólo como sedimentos marcadamente costeros, cuya fauna extremadamente rica, presenta mezcla completa, al mismo tiempo que corrosión apenas perceptible. Estas faunas mezcladas permiten reconocer, sin embargo, la falta de representante de algunas zonas, que en la proximidad todavía se presentan con gran riqueza en fósiles. Por consiguiente, deben existir aquí, al parecer, hiatos: tal en Quintanilla (el de la época de *garantiana*), y en Hontoria I y San Leonardo (en la zona de *acris*).

Con las zonas de *acris* (Quintanilla) o de *parkinsoni* (Hontoria I, o San Leonardo) se presenta una transgresión débil que en Hontoria I y en San Leonardo ejercía efecto, por debajo, hasta la zona de *sauzei* (hiato de la zona de *Humphriesianum*). La hilada de transgresión tiene unos dos o tres metros de potencia y muestra reminiscencias netas salinas con intercalaciones dolomíticas. En ellas encontramos, generalmente, dos hormigones de Ammonites, de los cuales el inferior representa frecuentemente la base de transgresión. La fauna se compone en mucha menor cantidad de Ammonites, trabajados pero apenas corroidos, que corresponden a las zonas del horizonte de transgresión y del Bajocense superior bajo. Estas todavía se presentan con pequeña potencia o han sucumbido totalmente a la transgresión. Sólo en Hontoria II parece notarse la falta de transgresión neta de la zona de *acris* o de *parkinsoni*. Aquí la zona de *garantiana*, relativamente potente, está constituida en la facies de las hiladas de transgresión. Es posible que allí se inicie, ya antes, el arrecife.

La fase vesúllica se estima en Inglaterra como la más intensa entre las intrajurásicas (Arkell, 1933), y se ha probado su existencia muchas veces también en el NO. de Alemania (Westermann, 1954, pág. 53).

d) *Batonense*.

En Quintanilla parece transgredir el *Batonense* medio. Todavía se hace notar una renovada e intensa regresión en el *Batonense* medio o superior. No podemos decir nada acerca de la duración supuesta del hiato a consecuencia de la transgresión cretácea.

3) Cretáceo inferior.

La transgresión del Cretáceo inferior se verifica mediante varios metros de areniscas margosas y conglomerados a los que se agregan arcillas rojas.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCELLIN (F.) & ROCHÉ (P.): *Les brachiopodes bajocensis du Monsard*. «Trav. Lab. géol. Fac. Sci. Lyon», 30, Mém. 25, Lyon (1936).
 - -- *Standard of European Jurassic*. «Bull. geol. Soc. Amer.», 57, S. 1-34, Washington (1946).
 - -- *Monograph of the English Bathonian Ammonites*. Paleontogr. Soc. London (1950).
 ARKELL (W. J.): *The Jurassic System of Great Britain*. Oxford (Univ. Press) (1953).
 - -- *The Bajocian Ammonites of western Australia*. «Phil. Trans. roy. Soc. London» (B), 237, S. 547-605, Cambridge (1954).
 BERTZ (A.): *Die Garantianenschichten von Norddeutschland mit bes. Berücksichtigung des Brauneisenoolithes von Harzburg*. «Jb. preuss. geol. L.-A.», 45, S. 119-193, Taf. 4 bis 9, Berlin (1924).
 - -- *Über Streptoceren und Garantianen, insbes. aus dem mittleren Dogger von Bielefeld*. «Jb. preuss. geol. L.-A.», S. 138-206, Taf. 14-19, Berlin (1928).
 BUCKMAN (S. S.): *Type ammonites*. London (Wheldon & Wesley) (1900-1930).
 DORN (P.): *Die Hammatoceren, Sonninen, Ludwigen, Dorseten und Wiltchellen des süddeutschen, insbesondere fränkischen Doggers*. «Palaeontographica», 82, A, S. 1 bis 124, Taf. 1-29, Stuttgart (1935).
 LISSAIGOUX (M.): *Étude sur la faune du Bathonien des environs de Mâcon*. «Trav. Lab. géol. Fac. Sci. Lyon», 3, Mém. 3, S. 1-192, 24 Taf. Lyon (1923).

- POTONIÉ (R.): *Die ammonitischen Nebenformen des Dogger* (*Apsorroceras, Spiroceras, Parapatoceras*). «Jb. preuss. geol. L. A.», 50, S. 216-261, Taf. 17-19, Berlin (1929).
- RICHTER (G.) & TEICHMÜLLER (R.): *Die Entwicklung der Kelliberischen Ketten*. «Abh. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl.», 3. F., 7, S. 1-118, Abb. 1-56, Taf. 1-2, Berlin (1933).
- ROMAN (F.) & TITOURAUD (CH.): *Étude sur la faune du Bajocien du Mont d'Or Lyonnais (Ciret). I. Céphalopodes*. «Trav. Lab. géol. Fac. Sci. Lyon», 11, Mém. 9, S. 1-51, Taf. 1-7, Lyon (1927).
- SCHRIEL (W.): *Die Sierra de la Demanda und die Montes Obarencs*. «Abh. Ges. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl.», N. F., 16, 2, S. 463-567, Taf. 1-9, Abb. 1-27, Berlin (1930).
- STAESCHE (K.): *Die Pectiniden des Schwäbischen Jura*. «Geol. palaeontol. Abh.», N. F., 15, S. 1-136, Taf. 1-6, Abb. 1-12, Jena (1926).
- WAAGEN (W.): *Über die Zone des Ammonites Sowerbyi*. «Geogn.-palaontol. Beitr.», 1, München (1868-76).
- WESTERMANN (G.): *Monographie der Otoitidae (Ammonoidea). Otoites, Trilobiticeras, Hinsaites, Epalytes, Germanites, Maskeites (Pseudo-toites, Polyplectites) Normannites*. «Geol. Jb.», Beih. 15, S. 1-364, Taf. 1-33, Abb. 1-149, Tab. 1-5, Hannover (1954).
- WETZEL (W.): *Faunistische und stratigraphische Untersuchungen der Parkinsoniensichten des Teutoburger Waldes bei Bielefeld*. «Palaeontographica», 58, S. 139-228, Taf. 11 bis 20, Stuttgart (1911).
- *Die Bielefelder Garantianen. Geschichte einer Ammonitengattung*. «Geol. Jb.», 68, S. 547-585, Taf. 11-14, Abb. 1-8, Hannover (1954).

Diciembre 1956

El concepto de oroclinal en Geotectónica

POR

S. WARREN CAREY

551.24

S. WARREN CAREY
Universidad de Tasmania

EL CONCEPTO DE OROCLINAL EN GEOTECTÓNICA (1)

RESUMEN

La faz de la Tierra muestra muchas áreas donde los cinturones orogénicos giran en sus rumbos con ángulos amplios, a veces hasta de 180°. Tal forma podría tener dos causas, o bien la zona orogénica la afectó desde el principio, o el curvamiento representa un esfuerzo superpuesto (aquí definido como un oroclinal). La geología clásica admitió siempre la primera hipótesis, explícita o implícitamente, mediante el uso del concepto de cratones alrededor de los cuales se moldearon los orógenos. Sin embargo, el análisis científico lógico exige que examinemos también las consecuencias que resultan del establecimiento de la segunda hipótesis. Se registran 25 casos de este tipo en la superficie de nuestro globo. En cada caso no solamente están de acuerdo con la segunda hipótesis las estructuras más importantes de la región, sino que las de tensión y de compresión de orden menor podrían ser predichas como consecuencia de la teoría de los esfuerzos superpuestos; de esta orientación de ideas resultan también soluciones completamente inesperadas para otros problemas tectónicos de orden mayor. Seis de entre estos oroclinales son estudiados con detalle en esta comunicación. Otros seis más se presentan más brevemente. Cuando todos estos oroclinales, junto con otros esfuerzos identificables, se invierten, aparece una Laurasia sustancialmente idéntica con la que dedujo Du Toit, basándose en ideas completamente distintas.

(1) Versión directa del inglés por J. M. Ríos, de la obra titulada *The Orocline Concept in Geotectonics*, aparecida en «Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania», vol. 89. Publicación núm. 28 del Departamento de Geología, Universidad de Tasmania, Hobart, 1955.

INTRODUCCION

Sir James Hall estableció por primera vez la deducción de que las inflexiones observadas en los estratos consistían realmente en deformaciones de lechos originalmente tendidos, y así nació la Geología estructural. El transcurso de siglo y medio ha visto mucho progreso, pero en su mayor parte se ha dirigido al incremento de nuestra comprensión de la anatomía interna de los orógenos. Muy poco se ha hecho acerca de la deformación del cinturón orogénico en conjunto. También, con la excepción sobresaliente de Suess y de su discípulo Argand, el énfasis de la nomenclatura estructural se dirige hacia la deformación del corte del orógeno, no de su forma en planta. Existen términos adecuados para expresar la deformación y dislocación de estratos en el plano vertical, e incluso para la consiguiente deformación, siempre en el plano vertical, de tales estructuras plegadas, pero no hay términos para la expresión de su deformación en planta, y todavía menos para el doblamiento o arqueamiento impreso al cinturón orogénico mismo, o para su estiramiento longitudinal. Sin embargo, el análisis de la compresión horizontal implicada en las orogénesis, y de su variación longitudinal, exige la ocurrencia de una deformación substancial en planta. Esto queda subrayado, además, por el examen de las dimensiones relativas de un orógeno y de los límites físicos a su posible deformación.

El orden de dimensiones de un sistema montañoso es el de 10^3 km. o más de largo, por 10^2 km. de ancho, por 10^1 km. de profundidad. Reducido a modelo podríamos imaginar un orógeno como un fleje de laminación. Su planta y su sección transversal se muestran a escala en A de la fig. 1. Cuando se pliega un orógeno de esa índole, la deformación en la dirección vertical está estrictamente limitada por la

gravedad y la isostasia. Antes y después de las orogénesis, la posición del centro de gravedad de los elementos del fleje, o tira, se aparta poco de una superficie gravitativa isopotencial, y el corte de la deformación del orógeno todavía se mantiene contenido completamente dentro de la lente B. Es casi imposible que el orógeno se deforme hasta

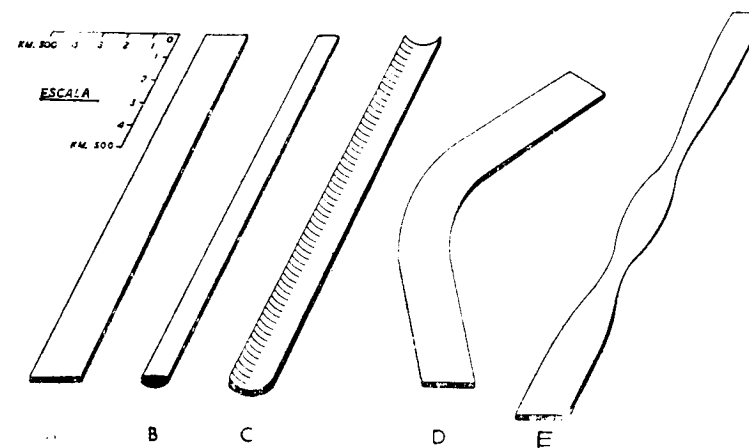


Fig. 1. Dimensiones relativas de un orógeno.

adoptar la forma C. Las dimensiones de longitud y anchura, por otra parte, no están confinadas a límites. Los geólogos alpinos hablan en términos de 500 e incluso 1.200 kms. de traslación horizontal. Sólo a 400 kms. de distancia, en el arrumbamiento de esta compresión existe el Macizo Central de Francia donde la compresión alpina es nula o despreciable, y 400 kms. más allá, normalmente al arrumbamiento de los Alpes, los Apeninos manifiestan intensa compresión, pero en dirección completamente distinta, de un alcance que todavía no ha sido calculado con exactitud, pero que será seguramente del orden de 10^2 kms. Estos hechos están entre los datos más ciertos que suministra la geología de campo.

Cuando se analizan tales fenómenos cuidadosamente, se encuentra que su geometría y relaciones en planta pueden expresar únicamente los efectos de movimientos intensos en diferentes direcciones, *con rotación diferencial mediante ángulos amplios*, según su proyección en planta. Es imposible escapar a la implicación de grandes cambios de forma superficial, por doblamiento, encogimiento y estiramiento en las dimensiones, no limitadas, de anchura y longitud (es decir, en planta). Esta deformación pudiera ser razonablemente más grande que el cambio de forma final en el corte, y parece que no haya razón lógica para no aceptar que la deformación pudiera conducir a la conformación D de la figura por doblamiento en planta, o a la forma E, por estiramiento.

Es razonable que examinemos el esquema estructural de nuestro globo para ver si encontramos estructuras de tal clase. Si esta búsqueda tiene éxito, deberíamos aceptar hasta el final las consecuencias de la hipótesis de que, en efecto, son deformaciones en planta, que pueden restituirse mediante enderezamiento y restauración a las formas o posiciones que primitivamente debieron tener. Este procedimiento ha producido resultados sorprendentes.

Presentamos testimonio de que tales estructuras probablemente existen y de que si nuestra interpretación resulta correcta son de hecho las estructuras más importantes de la geotectónica, proveen la llave para la comprensión de la evolución de los continentes e integran todas las demás características estructurales de la Tierra en un conjunto coherente. El concepto abre un nuevo campo a la comprensión de la tectónica, tan importante y fundamental como la deducción primera e inicial de Hall.

DEFINICIONES

Se propone el nombre de *oroclinal* para un sistema orogénico que ha sido flexado en planta hasta que llega a adoptar forma de herradura o de codo. (Griego *ορος*, montaña, *κλινο*, doblar.) La palabra *oroclinal* reemplaza al término *geoflex* que hemos usado para tales estructuras en una nota preliminar (Carey, 1954 A), y en conferencias pronunciadas ante la Sociedad Geológica de Australia, la Sociedad Geológica de Sud-Africa, y el Congreso de las Ciencias Oceánicas Pan-Indio. Sin embargo, la palabra *oroclinal* es más precisa, porque se refiere específicamente al orógeno que está doblado, no a los escudos adosados; además *geoflex* es una palabra híbrida.

Se propone el vocablo *diólisis* para expresar el fenómeno de un sistema montañoso que ha sido desgajado y separado del escudo continental con el cual está relacionado genéticamente. (Griego, *διωθω*, rasgar arrancar.)

Se propone el nombre de *orotas* para una diótesis que ha sido estirada en una fracción importante de su longitud. (Griego, *ορος*, montaña; *ταθω*, estirar.)

Se expondrán sucesivamente ejemplos que se interpretan como pertenecientes a alguna de estas categorías, con testimonios que soportan tal interpretación. Proponemos que estos términos se reserven para las estructuras de orden verdaderamente mayor de la superficie de la Tierra, del orden de los 1.000 kms. de longitud. No se propone que se apliquen a estructuras menores de 100 kms. de largo. El término *desgarre máximo* (*megashear*) ha sido ya usado para fallas transcurrentes de muy amplio desplazamiento. Este término se usará aquí, por consiguiente, para los casos en que el desplazamiento exceda de los 100 kms. Tal falla podría ser concebida, no como parte del orógeno, sino

como una estructura de mismo rango y que es su contrapartida.

LA ROTACIÓN DE ESPAÑA

La compresión pirenaica.

Los Pirineos forman un cinturón de intensa compresión, plegamiento y cabalgamiento, que alcanza su máxima anchura e intensidad en el extremo oriental, hacia el golfo de Lyon, y disminuye en anchura e intensidad hacia el Oeste, hacia la cabecera del golfo de Vizcaya, allí donde se extinguen los principales movimientos. Pliegues subordinados continúan arrumbándose a lo largo de la costa Norte de España, incluso hasta Oviedo. El esquema de los plegamientos del Mesozoico-superior y del Terciario se muestran en la fig. 2, en la cual las zonas intensamente comprimidas aparecen rayadas y cruzadas; en las áreas más moderadamente plegadas los arrumbamientos anticlinales principales se muestran en línea continua y los arrumbamientos sinclinales en líneas de trazos.

Nos encontramos que un corte trazado a través del cinturón pirenaico de compresión, a lo largo de la línea A B en la fig. 2, mostraría intensa compresión y acortamiento. Si tomamos en consideración únicamente el movimiento relativo, podemos imaginar uno de los lados, el A, como fijo. Entonces si estiramos el corte estrechado, llegamos a la conclusión de que antes del plegamiento el punto B debe haber estado en un punto tal como C. Un corte paralelo por DE mostraría también plegamiento y acortamiento, pero menor en proporción que el de AB. Considerando el movimiento relativo de D y E, E debe haber ocupado originalmente algún punto tal como F, siendo EF menor que BC, puesto que el acortamiento es más reducido. Finalmente, un tercer corte paralelo a través de O, o un poquito al Oeste de E, no mostrará plegamiento y, por consiguiente tampoco

acortamiento; es decir, el punto no habrá sido desplazado por el plegamiento.

El esquema de la compresión pirenaica, por consiguiente, implica que la línea OEB giró alrededor de O en relación a la línea ODA, a partir de alguna posición tal como

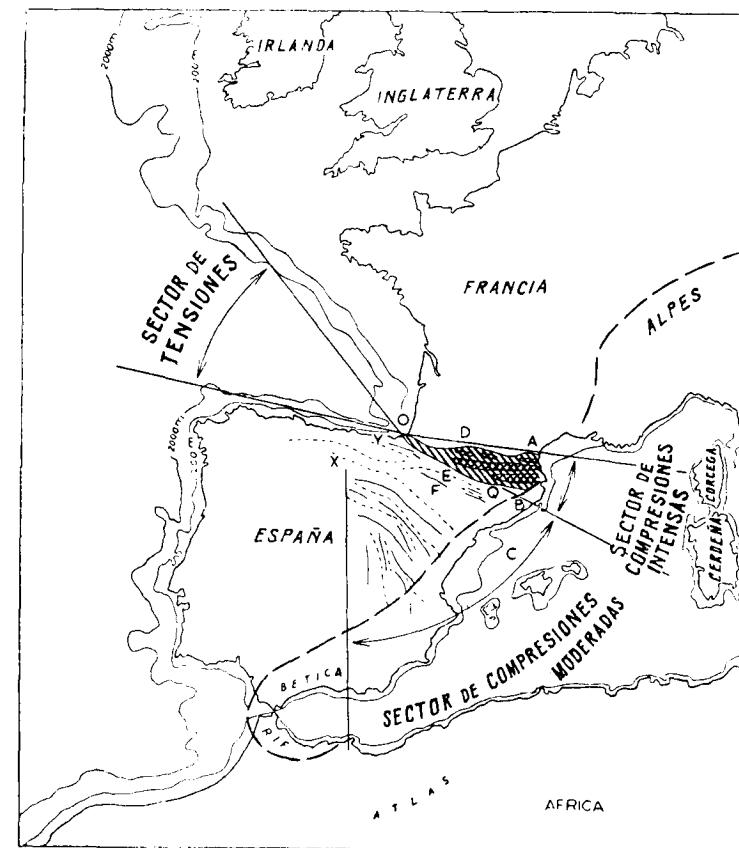


Fig. 2. La compresión pirenaica.

la OFC. La posición exacta podría ser restablecida teóricamente por una determinación cuidadosa de la proporción de acortamiento que presentan los Pirineos.

Tal compresión de un sector, por acortamiento a lo au-

cho del ángulo BOC, únicamente puede expresar que dentro del área circular descrita por la rotación de OB alrededor de O debe haber un área complementaria de tensiones que ha sido estirada a lo ancho de un sector igual al BOC.

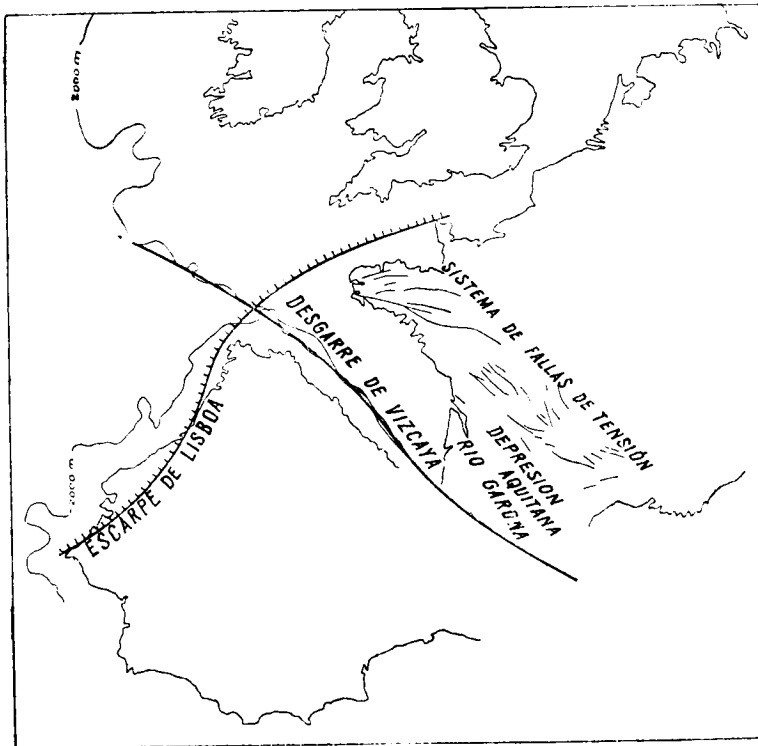


Fig. 3.—Tensiones estructurales en la región pirenaica.

Si rodeamos el arco en busca de un área tensional de esa clase, llegamos al golfo de Vizcaya. El golfo de Vizcaya (si lo juzgamos por la isóbata de 200 m., a partir de la cual hay una pendiente rápida hasta el fondo), tiene una forma triangular, opuesta por el vértice con respecto a la de compresión pirenaica. El piso de este área yace entre 3 y 5 km. por debajo de las plataformas de Francia y España. Esto se aproxima a la diferencia normal de nivel que

existe entre los continentes y los pisos oceánicos de los tipos Atlántico e Indico. El golfo de Vizcaya debería considerarse por consiguiente como piso oceánico normal. No podría considerarse como un continente hundido porque para deprimir material continental a tal nivel se necesitaría apreciar anomalías de la gravedad de tipo negativo muy grandes a lo largo de este área (2). Confirmación adicional nos la su-

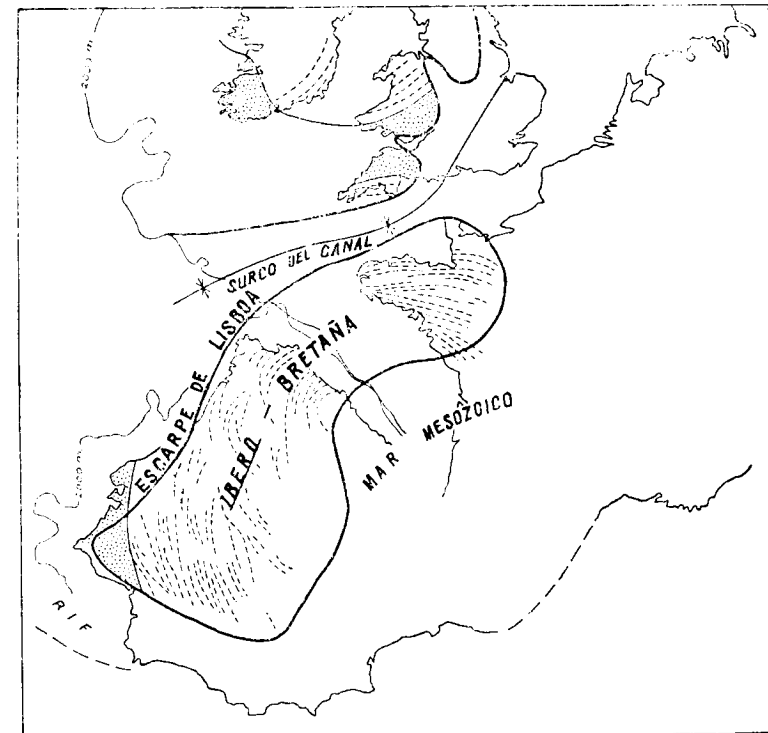


Fig. 4.—Acoplamiento de estructuras a través del desgarre del Golfo de Vizcaya.

(2) La única manera de escapar a esta conclusión es la sugestión hecha por Lees (1954, pág. 402), según la cual la discontinuidad de Mohorovičić representa un cambio de fase paramórfico, lo que es incompatible con las profundidades muy diferentes a que se presenta esa discontinuidad bajo los Continentes y los Océanos, respectivamente.

ministran las exploraciones sísmicas submarinas llevadas a cabo por Bullard y Gaskell (1941) y por Hill y Laughton (1954), que demuestran que el rápido declive continental que se desarrolla desde el Surcoeste de Irlanda hasta la cabecera del golfo de Vizcaya, señala el límite entre cortes típicamente continentales y oceánicos, en los que la discontinuidad de Mohorovicic se alza desde profundidades de 30 a 40 km. hasta niveles muy someros.

Si la compresión pirenaica se alisa por rotación de OB alrededor de O, alejándose de OA, el movimiento «cerraría» (cualitativamente) el golfo de Vizcaya al juntar el zócalo continental español con el de Bretaña. La interpretación más sencilla de la morfología de esta región consiste, por consiguiente, en considerar el golfo de Vizcaya como el desgarre tensional exigido por la geometría de la compresión pirenaica, puesto que no hay otra zona en la región que posea las características exigidas, y la magnitud de la tensión requerida es ciertamente suficiente para poseer una expresión fisiográfica permanente. Parece, por consiguiente razonable aceptar la conclusión de que la Península Ibérica giró unos 35° durante el plegamiento pirenaico.

Esto podría ser comprobado geológicamente por el estudio de los esfuerzos de segundo orden. Sería sorprendente que una compresión giratoria de la magnitud indicada por los Pirineos se desarrollase sin otra evidencia de compresión rotativa de mismo origen general: del mismo modo que podríamos esperar que la producción de un desgarre de la escala que el del golfo de Vizcaya fuera acompañado por la aparición de fracturas tensionales subsidiarias paralelas al desgarro primario y de misma dirección de movimiento. Tales esfuerzos confirmatorios existen de hecho, y por cierto que, aparte de los Pirineos y el golfo de Vizcaya, son los rasgos morfológicos dominantes en la región.

Compresión giratoria subsidiaria.

Se ha mencionado ya que hay un cierto número de pliegues en el NE. de España que parecen estar relacionados con la compresión pirenaica. Estos pliegues, cuyos arrumblamientos están mostrados en la fig. 2, son de dimensiones muy grandes, pero representan mucha menor intensidad de compresión que los Pirineos. Su forma y distribución implican también una rotación de la Península Ibérica en el mismo sentido que el de la compresión pirenaica principal y que el desgarre de la bahía de Vizcaya. Porque, si asumimos como primera aproximación que cada uno de los pliegues mostrados representa la misma proporción de acortamiento, entonces tenemos un estrechamiento cinco veces mayor entre P y Q que el que hay entre X e Y. Esto quiere decir que la línea PX ha girado hacia la línea QY durante el plegamiento. Esto también exige un sector tensional complementario. De aquí que podamos obtener la conclusión de que el desgarre tensional representado por el golfo de Vizcaya es el complemento, no solamente de la intensa compresión pirenaica, sino también del manajo de pliegues del Ebro, siendo la compresión del primer haz apreciablemente mayor que la del segundo.

El centro de la rotación implicada por los pliegues del Ebro parece transportada algo al Oeste del centro correspondiente a los Pirineos y golfo de Vizcaya. Esto no puede sorprender, porque producir pura rotación de un cuerpo tabular no pivotado requeriría una distribución muy especial de las fuerzas. Rotación acompañada por una traslación en el mismo sentido, es un tipo mucho más probable de movimiento. Esto es lo que parece que haya ocurrido en el caso de España.

El ángulo de los sectores comprimidos de la fig. 2, no es medida del ángulo que ha recorrido la rotación. Esos

ángulos meramente limitan la distribución de los efectos de compresión, que podrían en teoría estar distribuidos a lo largo de todo el sector complementario al sector de tensión, o estar limitados a una o más zonas débiles. El ángulo de compresión podría ser determinado solamente por medida del acortamiento total a lo largo de un arco, tanto de los Pirineos como de los pliegues menores del grupo del Ebro, y dividiendo los acortamientos medidos por las distancias radicales a partir del centro del sector. Estos ángulos deberían sumar aproximadamente al ángulo de desgarre de la bahía del golfo de Vizcaya. Teóricamente esto ofrece un método de comprobar la hipótesis, pero sería muy tedioso llevarlo a cabo, y los límites admisibles para las interpretaciones objetivas, en la determinación del acortamiento en los Pirineos, son probablemente lo suficientemente grandes para que la comprobación resultase únicamente de valor cualitativo. Sin embargo, sería útil intentarlo.

Tensiones de segundo orden.

Una característica conspicua del mapa de Francia es el grupo de fallas tensionales que arrumban en dirección Sureste, desde Bretaña hasta casi la boca del Ródano. Este grupo de fallas, mostrado en la fig. 3, permaneció activo durante el Mesozoico superior y el Terciario, y fué el causante del desarrollo de la cuenca aquitana. Puede que también determine la actual línea de costa, desde las bocas del Garona hasta la punta de Bretaña. Las fallas aflorantes del sistema están distribuidas a lo largo de un cinturón de 100 kms. de ancho por 700 kms. de largo. Hacia el SO. quedan anegadas bajo los sedimentos más modernos del valle del Garona. No es imposible que se encuentren realmente a lo largo de todo el trayecto hasta el desgarre de Vizcaya. Este sistema de fallas es evidentemente una característica tectónica, de orden mayor, de la región, y

puesto que resulta paralelo al propuesto desgarre de Vizcaya, la realidad de existencia de las condiciones tensionales, con este arrumbamiento y en la época requerida por las circunstancias, queda establecida inequívocamente.

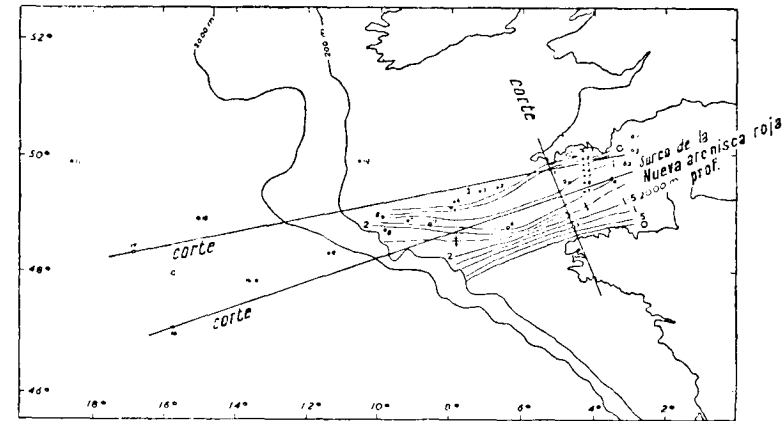
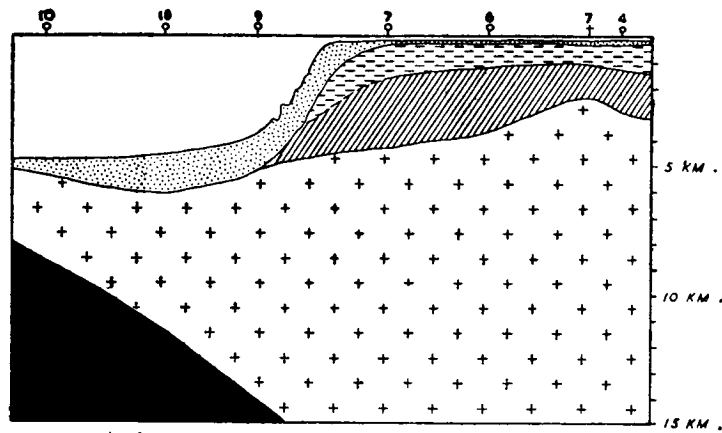
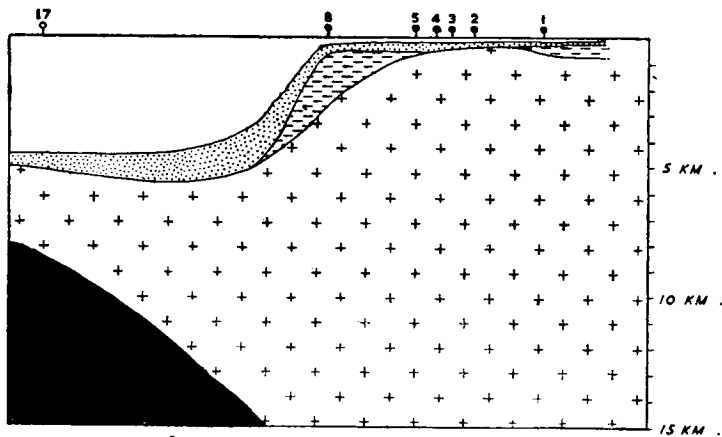
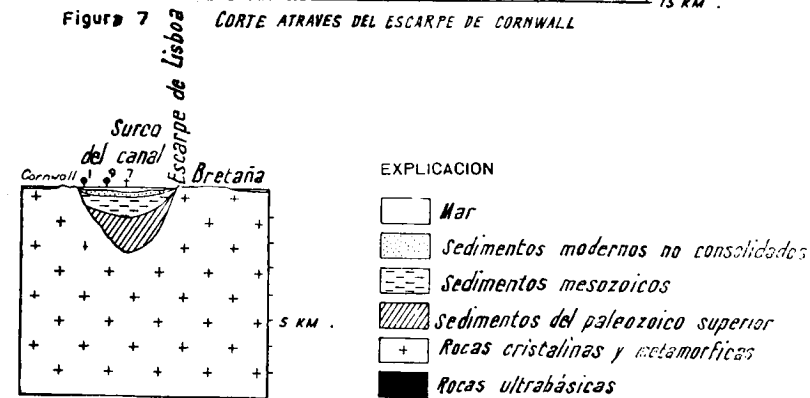


Fig. 5.—Surco de sedimentos mesozoicos tal como lo revelan las investigaciones sísmicas practicadas en el Canal de la Mancha y Golfo de Vizcaya. Los círculos vacíos (1-19) muestran las posiciones de las mediciones sísmicas practicadas por Hill y Laughton (1954); los círculos llenos (1-8), las de Bullard y Gaskell (1941), y las cruces (1-7), las de Hill y King (1943). Las curvas de nivel (en kms. bajo el nivel del mar) muestran el fondo del surco del Canal, de sedimentos mesozoicos.

Emparejamiento de estructuras a través del desgarre de Vizcaya.

Como comprobación geológica complementaria de la supuesta rotación deberíamos establecer una comparación entre las estructuras y facies de las rocas en las costas opuestas del golfo de Vizcaya, las cuales deberían haber estado en muy próxima vecindad con anterioridad al movimiento. Llamamos la atención acerca de las características acusadas que se muestran en el Mapa Geológico Internacional de Europa (1 : 1.500.000). Un manejo de pliegues hercinianos,

Figura 6 *CORTE ATRAVES DEL SURCO DEL CANAL*Figura 7 *CORTE ATRAVES DEL ESCARPE DE CORNWALL*Figura 8
CORTE ATRAVES DEL SURCO DEL CANAL

Figs. 6, 7 y 8. Cortes a través del surco del Canal de la Mancha a lo largo de las alineaciones mostradas en la fig. 5. Estos cortes resultan de compilaciones de los resultados sísmicos y cortes publicados por Hill y Laughton y Bullard y Gaskell, junto con los afloramientos terrestres conocidos y muestras submarinas de la Vieja Arenisca Roja.

apretadamente comprimidos, arrumban del Norte hacia el Oeste a través de Bretaña, con curvamiento hacia el Oeste (fig. 4). Un nudo de pliegues de parecido grado de compresión se arrumba al S-SE. en el NO. de España, con curvamiento al SE. a través de España y Portugal. Bajo la actual configuración de las tierras firmes ambos manojos de pliegues quedan recortados y arrumban hacia el interior de un océano desprovisto de características, el cual, como hemos dicho antes, no puede ser considerado razonablemente como constituido por material continental. Mediante la reconstrucción que muestra la fig. 4, estos manojos de pliegues se disponen a continuación uno de otro. La inversión de la rotación de España los une a tope. La curvatura de cada manajo resulta del mismo sentido y ambos juntos forman un suave arco continuo. Cada segmento tiene un núcleo que está constituido por rocas cristalino metamórficas intensamente inyectadas por granitos, los cuales instruyen también en una secuencia suprayacente de estratos cambro-devoniano-silurianos intensamente plegados.

El macizo Ibero-Britano está recortado al O. por el escarpe de Lisboa, donde las rocas cristalinas y paleozoicas de la meseta se desplazan hacia la llanura costera de Portugal. Este escarpe, o flexura, que parece de morfología similar al de Darling de Australia occidental, ofrece su transcurso oblicuamente hacia el mar y se arrumba hacia el boquete desgarrado de la bahía del golfo de Vizcaya. Existe una caída de parecida pendiente desde las metamórficas de Bretaña hasta un surco de sedimentos mesozoicos situado bajo el Canal de la Mancha, según han demostrado recientemente las investigaciones submarinas sísmicas (Ver figs. 6, 7 y 8). El cierre del boquete del desgarramiento de Vizcaya, tal como lo muestra la fig. 4, sitúa el escarpe de Lisboa frente a frente a la caída estructural existente entre

Bretaña y el surco del Canal y suministra, por consiguiente confirmación adicional a la reconstrucción propuesta (3).

La fig. 4, muestra también el esquema de la transgresión liásica, que es típica de las amplias depresiones de sedimentación somera, epi-continental, que tuvo lugar tras el plegamiento alpino-bético durante la Era Mesozoica. Se escoge el liásico con objeto de limitar el mapa paleogeográfico a un período de tiempo razonablemente corto. Resultan imágenes comparables si hacemos la aplicación a otras épocas mesozoicas. El límite liásico, tal como se reconstruye después del cierre del golfo de Vizcaya, muestra un abultamiento dirigido al Este en Bretaña y al Oeste hacia Oviedo, abultamientos que recaen precisamente en los sitios en que deberían estar de acuerdo con las relaciones que existen entre los sedimentos mismos. Porque en Bretaña, donde el mar liásico transgredió los pliegues paleozoicos, cada una de las series del Mesozoico queda a su vez rebasada sucesivamente por cada una de las series siguientes, lo que indica la existencia de un promontorio paleogeográfico hacia el Este, mientras que en Oviedo, todos los cortes del Mesozoico muestran un golfo complementario hacia el Oeste. Este esquema, por consiguiente, también está de acuerdo con la reconstrucción propuesta.

Resumiendo, diremos que todas las unidades estructurales que mencionaremos en seguida, concuerdan en su empalme a ambos lados del desgarre de Vizcaya, una vez restablecido a su primitivo estado el mar liásico de Francia meridional y España oriental, esas unidades son: los haces de pliegues ibero-britanos de rocas cristalinas y paleozoi-

(3) La publicación del profesor King (King, 1954), que me ha llegado cuando este manuscrito estaba en prensa, añade información mucho más detallada con respecto a la historia paleozoica del Canal de la Mancha. Sin embargo, las características esenciales que aquí se citan permanecen inalterables. Compárese, por ejemplo, la figura 5 de este trabajo con las figuras 5 y 6 de King.

cas; el escarpe de Lisboa y la flexura submarina de Bretaña, y los sedimentos mesozoicos del surco del Canal de la Mancha y de la llanura costera portuguesa. A menos que cerremos el Canal de la Mancha, nos enfrentaremos con el problema de cuál sea la prolongación de estas estructuras, porque cada una de sus terminaciones interrumpidas se acaba en el golfo de Vizcaya, cuyo fondo se puede demostrar que está constituido por rocas de muy diferente índole.

EL OROCLINAL BELUCHISTANO

El sistema de pliegues cretáceo-terciario de Persia, adopta un rumbo sureste a lo largo de 2.000 kms. desde Asia Menor hasta los Estrechos de Ormuz. Pero en los siguientes 1.000 kms. el rumbo gira 120° hasta adoptar dirección casi Norte hacia el Kashmir (fig. 9). Allí encontramos otro giro, rodeando al Punjab, hasta el Himalaya. Examinemos en primer lugar el doblamiento del Beluchistán. O bien el sistema de plegamiento adoptó esta forma desde el principio, o bien el arco de 120° es una estructura originada por la supersuperposición de un esfuerzo debido a doblamiento de un orógeno, en planta. El concepto clásico ha partido siempre de la primera hipótesis, al emplear el concepto teórico de escudos intensamente pasivos, alrededor de, y entre los cuales, quedaron moldeados los orogenos. Sin embargo, el análisis científico lógico exige que examinemos también las consecuencias de adoptar la segunda hipótesis; deberíamos analizar, de modo particular, las relaciones que existían entre tal oroclinal y los rasgos estructurales de primer orden de la región.

Consideremos en primer lugar el Mar Árabe, boquete triangular existente entre los bloques continentales de India y Arabia. ¿No nos recuerda la forma de esta área, opuesta por el vértice al oroclinal beluchistano, la relación que existe entre los Pirineos y el Golfo de Vizcaya? En-

derecemos el supuesto oroclinal beluchistano y cerremos el Mar Árabe (figs. 9, 10 y 12). Encontramos que este esquema, o modelo, de un oroclinal y su correspondiente

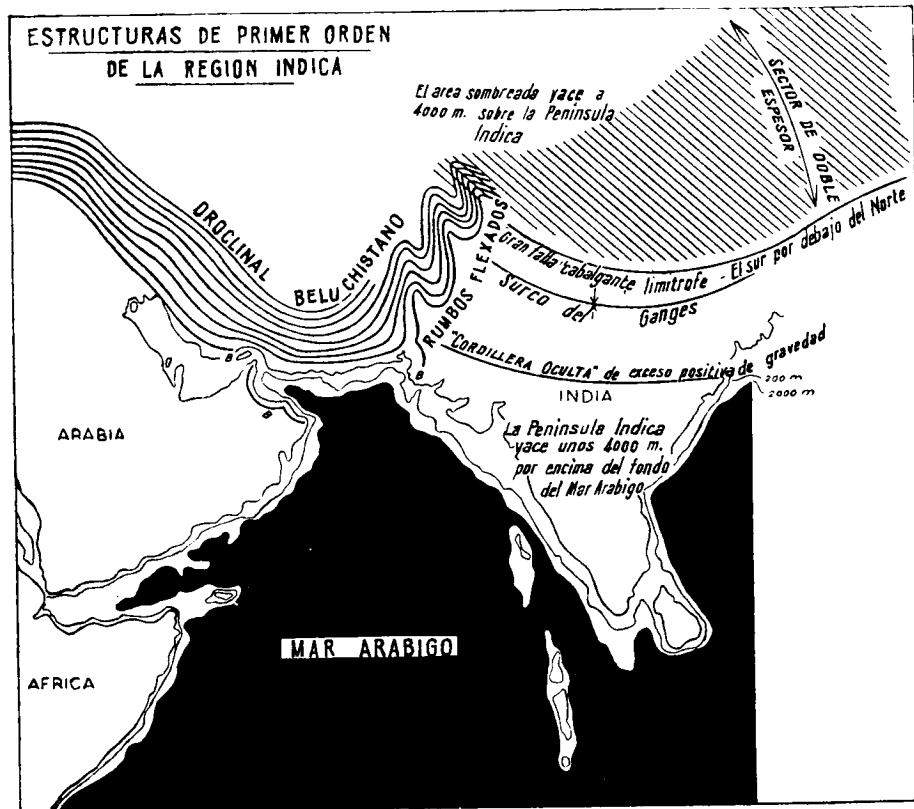


Fig. 9

desgarre triangular que se le pone por vértice, se repite con regularidad impresionante a lo ancho de la faz de la Tierra. Los flancos de estos boquetes son líneas de costas falladas, generalmente en disposición oblicua con respecto a las orientaciones de las estructuras y la estratigrafía; sin embargo, el piso de este mar, no es ciertamente un con-

tinente hundido. Las observaciones del valor de la gravedad indican que aunque hay una anomalía negativa de categoría regional en la región del Océano Índico septentrional-Mar Árabe, su apartamiento de la isostasia es pequeño, lo que no ocurriría caso de estar constituido por un escudo continental deprimido a 4 kilómetros de profundidad. Porque el hundimiento a 4 kilómetros de un bloque similar al de la Península del Deccan exigiría el desplazamiento lateral de 4 kilómetros del material existente por debajo, lo cual tendría como consecuencia un déficit de masa de tres millones de toneladas por kilómetro cuadrado. Independientemente de la isostasia, esto tendría como consecuencia una anomalía gravitativa de varios cientos de miligalios, lo que denotaría al aire libre anomalías, incluso antes de aplicar cualquier corrección de Bouguer o reajuste isostático. Además, donde quiera que se haya hecho investigación sísmica en mares que se consideran como continentes hundidos, se ha encontrado que la discontinuidad de Mohorovicic no se halla muy por debajo del lecho del mar, lo que indica, no un continente hundido, sino una discontinuidad entre materiales continentales (Hess y Maxwell 1933 para el Caribe, y Officer 1954 para el Pacífico suroriental).

Examinemos ahora la Mesa Tibetana, región de compresión post-paleozoica que aparece rayada en la Figura 9. Como ocurre con los Pirineos, esa zona también se estrecha, de una anchura de unos mil kilómetros en el meridiano cien, hasta menos de 300 kilómetros en el setenta. ¿Significa esta reducción de la anchura, como en el caso de los Pirineos, que ha estado sometida a una rotación alrededor de Y (figura 10)? ¿O es que debemos suponer que la compresión estuvo mucho menos concentrada en el Este que en el Oeste?

Se sabe que el frente meridional de esta mesa del Tibet está intensamente cabalgado, en cuyo cabalgamiento el lado meridional está cobijado por el lado septentrional. Los Montes Siwaliks, de la región de sierras marginales, muestran

por lo menos tanta compresión como la molasa suiza, y aunque el alto Himalaya no ha sido objeto del intenso estudio que ha revelado la compresión de los Alpes, los estudios preliminares parecen indicar que ha tenido lugar en el Himalaya un acortamiento por lo menos del mismo orden, y desde luego, de la categoría de los cientos de kilómetros. Enderezamos el oroclinal del Beluchistán, y el cabalgamiento del Himalaya queda deshecho.

La mesa tibetana yace unos 4 kilómetros por encima del nivel de la Península Indica y de las regiones continentales en general. Las últimas, a su vez, yacen unos 4 kilómetros por encima del nivel general del Mar Arábigo y de los pisos oceánicos. Se ha señalado frecuentemente que este hecho arrastra consigo la consideración de que bajo la mesa tibetana hemos de encontrar dos veces el espesor normal de material continental. Porque si un iceberg tabular flotante se levanta sobre el nivel del mar a doble altura que otro de la misma índole, el primero tiene dos veces el grosor del segundo, independientemente de las densidades del hielo y del agua. De la misma manera, una masa continental, tal como la mesa del Tibet, debe tener un grosor doble que el de cualquier otra mesa continental que como la Península Indica se alee únicamente a la mitad de altura sobre el piso de los océanos. Regeneremos el oroclinal del Beluchistán a su primitivo estado, y el problema del doble continente se resuelve automáticamente, porque la masa india es extraída de debajo de la mesa tibetana. La anchura del área de doble espesor es una medida directa de la compresión. Si se toman en consideración los volúmenes del material involucrado, se verá que resultan verdaderamente independientes de que un continente está empujado por debajo del otro, o bien que los dos continentes están aplastados uno contra otro hasta que el espesor quede doblado (Fig. 11). Entonces tenemos que el acunamiento de la alta mesa mostrado en la figura 10 implica verdaderamente rotación, porque la cantidad de acortamiento por compresión exigida por

el Himalaya sería del orden de 1.000 kilómetros en el extremo oriental y de sólo 200 en el occidental.

TENSIONES SATÉLITES

Si invertimos el proceso generador del oroclinal beluchistano, la Península Indica vuelve a adoptar la posición que indica la figura 12. En esta posición que acabamos de reconstruir el supuesto desgarre del Mar Arábigo se integra como parte del gran sistema de desgarres del Globo. La génesis tensional del sistema de valles de desgarre africanos se ha discutido con acaloramiento durante varias décadas, pero no se abriga en cambio duda alguna en lo referente a las márgenes de fallamiento normal del bloque arábigo. Además, ha sido señalado por el autor, en el Congreso Pan Indio de Ciencias Oceánicas celebrado en Bangalore en 1951, que los surcos por fallamiento que precipitaron las rocas de Gondwana en el escudo peninsular de la India ofrecen un esquema radial compatible con los esfuerzos de tensión que acompañan a la génesis del supuesto oroclinal beluchistano (fig. 12). Ahmad (1952), siguiendo las ideas postuladas por Gee, ha argumentado que estos surcosfalla son en su mayor parte de edad mesozoica superior.

Desplazamiento transcurso satélite.

A lo largo de la discusión de la rotación de España, señalamos que la rotación pura de bloques tectónicos es físicamente improbable, y que debería además ir acompañada habitualmente por un desplazamiento transcurso del mismo sentido que la rotación. Esto está subrayado de hecho por la compensación translativa de los centros aparentes de rotación X é Y (fig. 10). El desplazamiento transcurso de la India en la dirección X-Y está también implicado por la abertura tensional del Mar Rojo y del Golfo Pérsico, y por la acción, en doble rodilla, de los oroclinales del Belu-

chistán y del Punjab, que se desarrollaron *pari passu* y que se enderezan también simultáneamente cuando se restaura el oroclinal del Beluchistán (fig. 12)

Paleogeografía.

Los rasgos generales de la geología de las costas que de este modo se ponen en contacto son semejantes. Sin embargo, es necesario emplear una precaución extrema al deducir conclusiones positivas, en lo que se refiere a la primitiva yuxtaposición de continentes, cuando han de basarse únicamente en testimonios de tal índole. Le ha sido posible al autor presentar casos aislados en el acoplamiento de pares de costas con semejanzas geológicas generales, e incluso casos de paralelismo sorprendentes, pero en los que las correlaciones eran de carácter mutuamente eliminatorio. Por lo tanto, si hay casos en que tal mecanismo resulta falso, debemos ponernos en guardia ante otros similares que pueden ser, al menos, sospechosos. Esto resulta particularmente cierto en lo que se refiere a la correlación de reparticiones areales, distinguiéndolas de las características lineales tales como los orógenos y los cambios faciales.

En el caso indico-arábigo, tanto la Península del Decán, como el bloque arábigo y Somalia, son todos ellos escudos precambrianos permanentes, con cuencas suprayacentes de rocas cretáceas y jurásicas. Hacia el Norte, estos escudos quedan anegados, con suave pendiente, bajo espesores incrementantes de estratos terciarios y mesozoicos que yacen sobre sedimentos marinos del Paleozoico de facies marina, marginal y somera. No hay estructuras entre las que se arrumban cruzadamente con respecto a las costas, que no aparezcan razonablemente apareadas con otras de la costa de enfrente. Es razonable aceptar la conclusión de que mientras la geología de las costas opuestas puede *no probar* (si nos basamos en los datos de que disponemos ahora) la primitiva yuxtaposición, de la manera que proponemos a

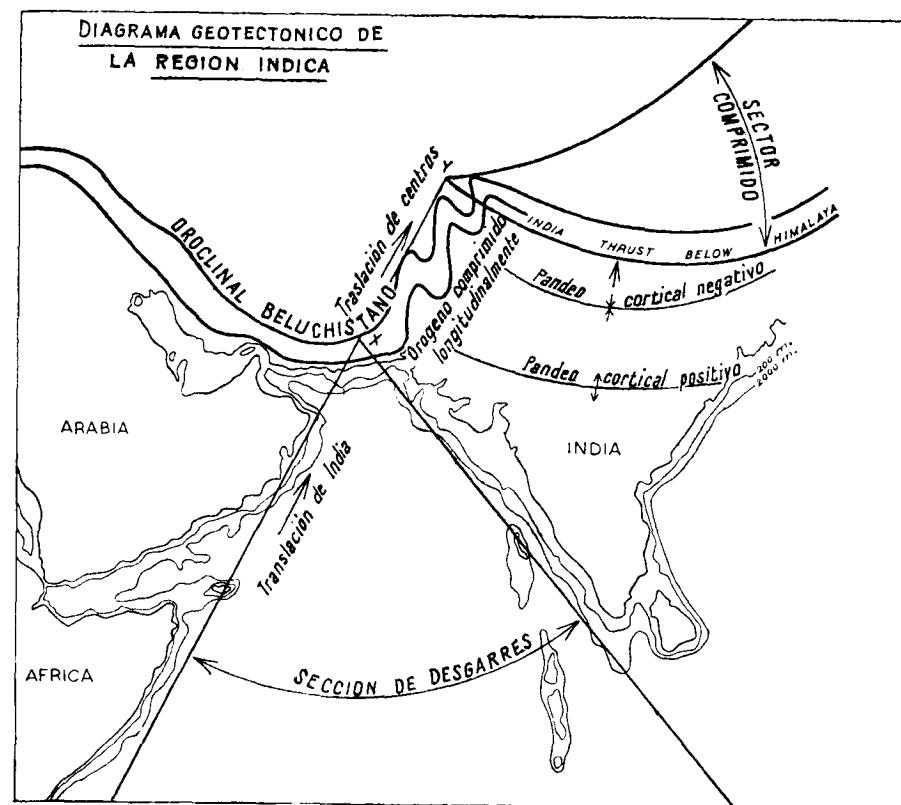


Fig. 10.



Fig. 11.—Diagrama que muestra el grado de compresión exigido por el doble espesor continental.

partir del estudio de los esfuerzos de primer orden, lo que sabemos de su geología es absolutamente compatible con esta interpretación, y forma un cuadro paleogeográfico coherente. Esto ha sido estudiado con algún detalle por Ahmad (año 1952).

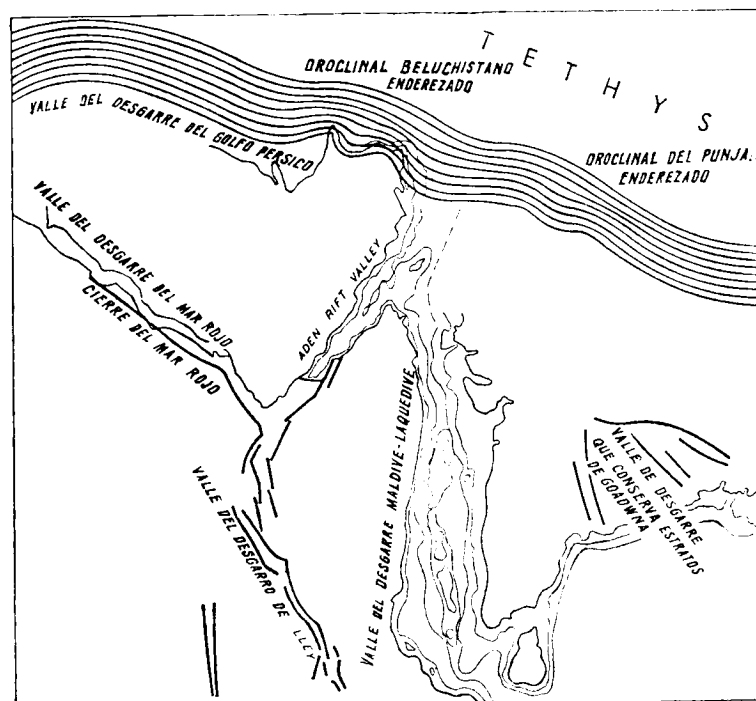


Fig. 12. -Restitución del oroclinal del Beluchistán.

Circunstancias que concurren en el oroclinal del Beluchistán.

Resumiendo, diremos que la inducción de que el giro de los sistemas montañosos del Beluchistán es un oroclinal, explica simultáneamente todas las restantes estructuras de primer orden de la región y está de acuerdo con las estruc-

turas de orden menor. Invertamos el oroclinal del Beluchistán, y el cabalgamiento del Himalaya queda también invertido; la Península India surge de por debajo de la Mesa Tibetana, se cierra el desgarre triangular del Mar Arábigo, y el problema del bloque-falla que se echa en falta queda resuelto. Independientemente de que la inducción del oroclinal sea correcta o equivocada, ha de concederse, al menos, que integra en un acto todas las grandes características geomorfológicas de esta región.

EL OROCLINAL DE ALASKA

Cuando se siguen las Montañas Rocosas en dirección al Norte a través del Canadá, hasta dentro de Alaska, los rumbos de plegamiento giran unos 75 grados (fig. 13). Gran parte de este doblamiento, sin embargo, es muy local y se recupera por medio de inflexiones complementarias, pero si se examina desde un punto de vista regional se encuentra una variación en los rumbos de unos 30 grados. Como en los otros casos ya discutidos, hay también un sector triangular de desgarres de tensión (la depresión del Océano Artico) opuesta por el vértice con respecto al centro de giro de los arrumbamientos. Este cambio de los rumbos, por consiguiente, atestigua su morfología oroclinal y, para ser consecuentes, deberíamos seguir adelante con nuestra inducción y examinar las consecuencias de suponer que este arqueamiento sea en efecto un esfuerzo impreso. De acuerdo con la hipótesis aceptada como base de este análisis, el oroclinal debería estirarse y el sector de desgarre debería cerrarse. Esta acción no solamente elimina la depresión de la cuenca Artica, sino también el Océano Norte-Atlántico, porque la abertura entre Newfoundland e Irlanda subtiende igualmente un arco de 28 grados en el centro del oroclinal (ECO, GFO, fig. 13). El esquema resulta muy claro por

comparación del mapa de la fig. 13 y el diagrama de la figura 14. Se pueden distinguir tres zonas complementarias del oroclinal de Alaska en el desgarre tensional. La zona

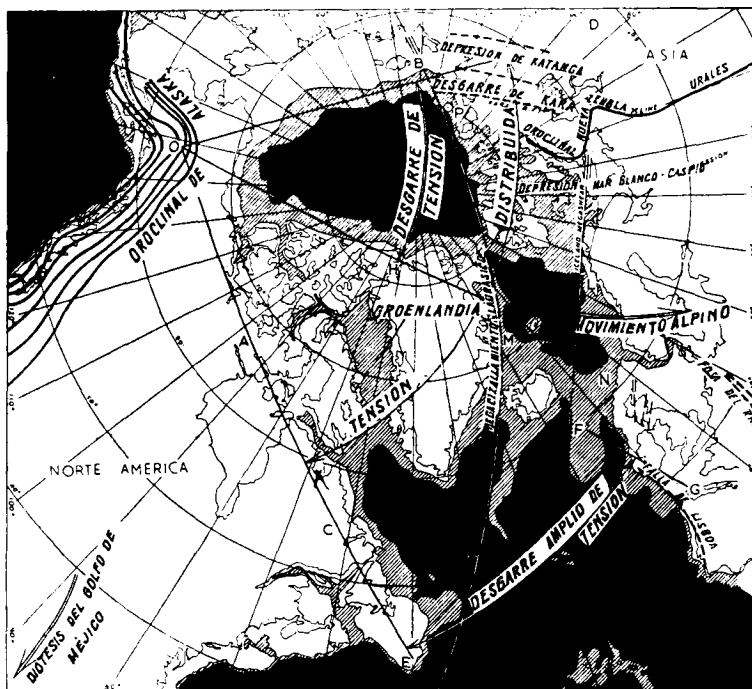
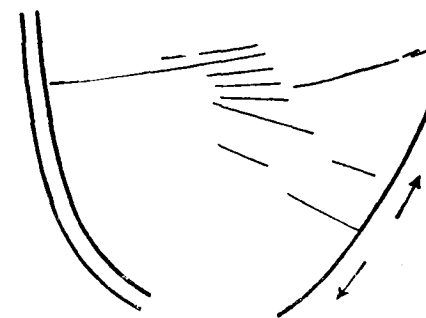


Fig. 13.—El oroclinal de Alaska.

interior, HOB, constituye un sector sencillo de desgarre de tensión de unos 28° de abertura, en todo semejante al del Golfo de Vizcaya y del Mar Arábigo. La zona exterior es el sector anular CEF, donde de nuevo encontramos simple desgarro tensinal, que también subtende un ángulo de unos 28° en su origen. Estos desgarres, interior y exterior, sencillos, están conectados *en echelon*, a lo ancho de una zona abarcante, más amplia, de tensiones distribuidas (el sector anular ABCD) en que la tensión se distribuye a



Esquema de fracturas del Atlántico Norte (antes de la separación).

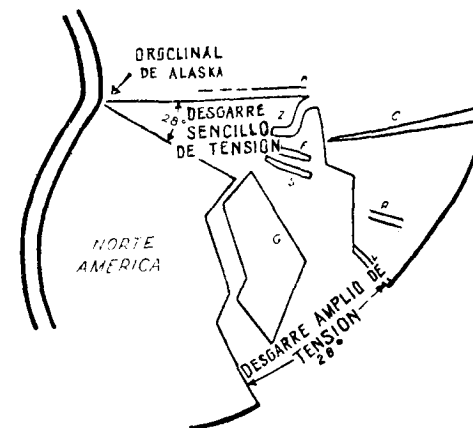


Fig. 14.—Diagrama que ilustra el esquema de fracturas del oroclinal de Alaska. C, Caspio; Depresión del Mar Blanco; F, Tierra de Francisco José; G, Groenlandia; K, Desgarre de Khatanga; L, Valle por falla de Lisboa; R, Valle de desgarre del Rhin; S, Spitzbergen; Z, Oroclinales de Nueva Zembla.

lo ancho de una abertura de 80°, pero cuya integración se puede suponer que arroja unos 28°.

Esta zona de tensiones repartidas está representada por los mares de Groenlandia, Barents y Kara y los surcos de

Khatanga, Estrecho de Davis y Bahía de Baffin. Muchos autores han presentado la objeción de que hay una gran falla transcurtiva representada por el Canal de Robeson, a lo largo de la cual Groenlandia aparece desplazada con relación al Canadá, y causa de este modo una depresión tensional puesta de manifiesto ahora por el Estrecho de Davis y la bahía de Baffin (Consúltese, Wegener 1924, pág. 58 ;

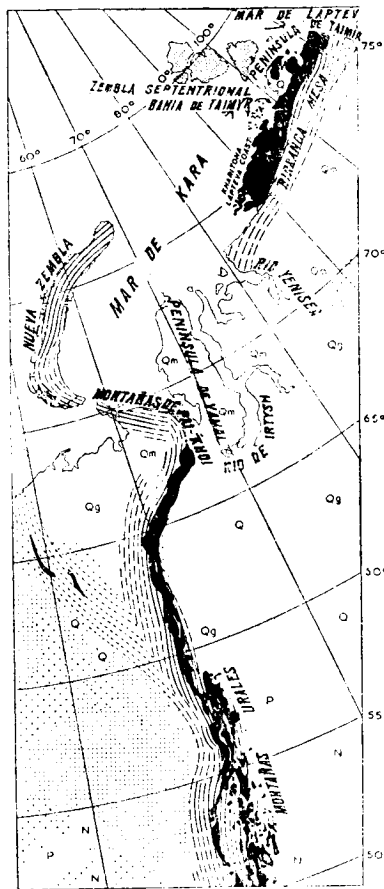


Fig. 15.—Oroclinales de Pai Khoi y Nueva Zembla.

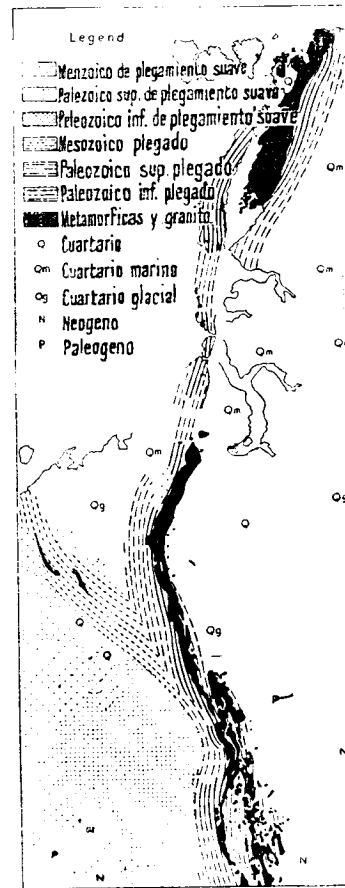


Fig. 16. Restitución de las oroclinales de Nueva Zembla

Taylor 1928, fig. 1 ; Bucher 1933, fig. 99 ; Du Toit 1937, página 135).

La depresión de Groenlandia oriental es de forma trapezoidal. Los lados KL y MN del trapecioide se disponen radialmente a partir del centro del oroclinal de Alaska, y muestran convergencia hacia aquel punto (ver fig. 13). El ángulo subtendido en el oroclinal es de 13° . Veremos en seguida que el desgarré de Kara subtiende más o menos un arco de seis grados y deja unos nueve grados para repartir entre los del Mar de Barents, la depresión de Khatanga y el Estrecho de Davis, lo que parecería quedar dentro del orden auténtico de magnitudes. Se mostrará más tarde que los bordes septentrional y meridional de la depresión groenlandesa-oriental son líneas de intenso desplazamiento transcurtivo (el límite septentrional es la línea de De Geer de Wegman, 1948). El autor mostrará en otra ocasión que esta forma trapezoidal, con dos bordes tensionales opuestos y dos límites complementarios transcurtivos, es una forma característica de las cuencas disyuntivas, y que este esquema se repite muchas veces en la superficie de la Tierra.

Para que podamos aceptar la abertura tensional del mar de Kara es necesario que examinemos antes los oroclinales de Nueva Zembla y de Pai Khoi, que resultarán parte integrante del esquema mayor del oroclinal de Alaska.

Oroclinales de Nueva Zembla y de Pai Khoi.

La prolongación septentrional de los Urales forma un codo en ángulo recto hacia el Noroeste en dirección a las montañas de Pai Khoi a lo largo de un recorrido de unos 400 kilómetros hasta Nueva Zembla (Novaya Zemlya). Aquí hay otro codo en ángulo recto hacia el Noroeste, rumbo que continúa a partir de allí a lo largo de 400 kilómetros. La figura 15 muestra la estructura de esta región calcada de uno de los mapas geológicos a escala 1:5.000.000 de la U. R. S. S., que fué preparado para el Congreso Geológico

Internacional (1937). Estas inflexiones caen dentro de la categoría morfológica y son de las dimensiones de las estructuras que han de ser confrontadas como posibles oroclinales.

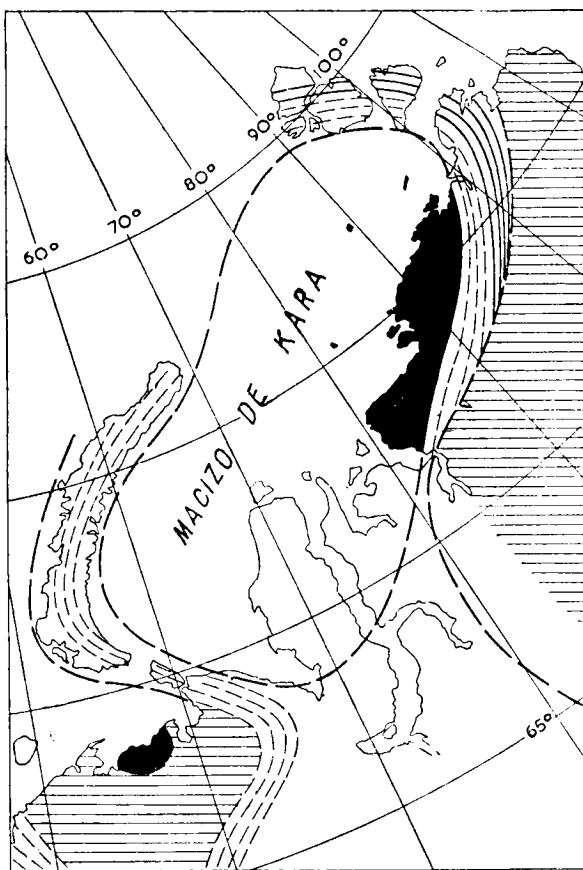


Fig. 17.—Macizo de Kara según Umbgrove.

La fig. 16 muestra el cuadro que resultaría si los dos dobleces de los codos se estirasen. El mero enderezamiento que produce un cuadro tectónico más sencillo. Pero el eslabón de Nueva Zembla pone de manifiesto rocas cristalinas y pliegues del Paleozoico superior aflorantes en las Montañas

de Byrranga y en la Península de Taimyr, que se manifiestan de este modo como la prolongación directa de los Urales. Los Urales «mayores», que resultan como consecuencia, se desarrollarían en arco sencillo desde el Mar de Aral hasta el de Laptev con un recorrido doble de su longitud actual.

Esto suscita la cuestión de qué es lo que hay debajo del mar de Kara. De acuerdo con la interpretación oroclinal, el mar de Kara sería una cuenca simaica, el desgarré de tensión debido al doble oroclinal, y semejante morfológicamente al del golfo de Vizcaya y al Mar Arábigo, aunque de forma modificada debido a la existencia del segundo oroclinal. Sin embargo, Umbgrove (1947, lámina 5), ha apoyado la idea de la existencia de un Macizo de Kara constituido por rocas cristalinas, actualmente hundido, para explicar las cordilleras marginales de Pai Khoi, Nueva Zembla y Península de Taimyr (fig. 17). Pero en realidad, no hay testimonio real de la existencia del macizo de Kara, y la de sus cordilleras marginales es, en parte, contraria a los hechos. Porque el arco de pliegues caledonianos y hercínianos que según Umbgrove se desarrolla desde las montañas de Byrranga hacia el Norte y Noroeste hasta las islas de Zembla septentrionales (Severnaya Zemlya) no está de acuerdo con el mapa geológico. Umbgrove parece seguir la opinión de Leuchs cuya reconstrucción está de acuerdo con mapas topográficos anticuados (Bartholomew, 1931, página 53); pero su topografía ha sido revisada en mapas más recientes (Bartholomew, 1950, pág. 63). Además, los arrumbamientos mostrados por Umbgrove cortan a través de los arrumbamientos del mapa geológico a escala 1:5.000.000 de la U. R. S. S. Las viejas rocas cristalinas señaladas por Umbgrove a lo largo de la costa de Kharitona Lapteva sólo hasta la Bahía de Taimyr, continúan en realidad hacia el Este, sin cambio de rumbo, hasta el Cabo Pyretra, y los pliegues hercínianos al Sur de este cristalino también se

prolongan por el Este sin discontinuidad hasta el Mar de Laptev (compárese las figs. 5 y 17).

Aunque el Mar de Kara es casi siempre muy somero, es difícil no llegar a la consecuencia de que está constituido en su mayor parte por un espeso delta de sedimentos terciarios y recientes. Lo mismo tendría que decirse de la mayor parte de la Península de Yamal. Los únicos afloramientos que se encuentran en ese área son sedimentos cuaternarios de índole marina; además constituye el único desagüe para los sistemas fluviales Ob-Irtysh y Jenisei, los cuales drenan conjuntamente todo el país situado entre los Urales, el Altai y el lago Baikal, cuya área es aproximadamente doble de la de aportación al Mississippi. Resultaría sorprendente si la acumulación de sedimentos en el Mar de Kara no fuera por lo menos igual a la que existe en la desembocadura del Mississippi.

La hipótesis de que la cuenca del lago de Kara está constituida por sedimentos modernos que descansan en fondo oceánico profundo, está de acuerdo con la morfología de la región y con todos los datos geológicos de que disponemos. Por consiguiente, la interpretación de que las inflexiones de Pai Khoi-Nueva Zembla representan un doble oroclinal, está de acuerdo con todo lo que se sabe acerca de esta región y simplifica notablemente el cuadro tectónico. La relación complementaria que se ofrece entre los oroclinales de Pai Khoi y Nueva Zembla repite la que existe entre los de Beluchistán y Punjab. Cada par ha producido una especie de esquema en cigüeñal y los dos deben ser restituidos *pari passu*.

Como en el caso de los ejemplos previamente discutidos, tenemos sobrado testimonio de la actuación de tensiones de segundo orden actuantes en la misma dirección que en el caso del supuesto desgarre de Kara (fig. 18). La depresión de Khatanga es un surco de fallamiento hundido en las viejas rocas de escudo de la plataforma siberiana, de la que

aisla a la Península de Taimyr. El mapa escala uno a cinco millones muestra la existencia de fallas paralelas a lo largo del lado meridional del bloque de Taimyr. La depresión de Khatanga está ocupada en gran medida por sedimentos cuar-

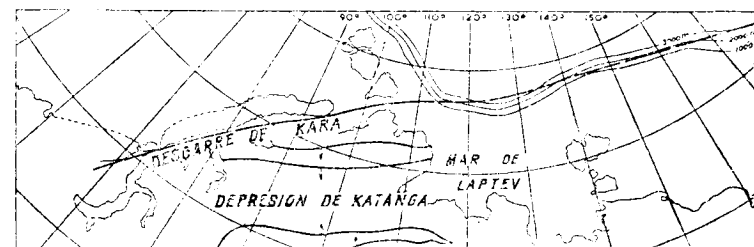


Fig. 18. Estructuras de tensión asociadas al desgarre de Kara.

tarios de índole marina, pero el fallamiento parece haberse mantenido activo desde el Mesozoico. El desgarre de Kara es colinear con respecto al borde septentrional del zócalo continental de Siberia oriental (compárese las figs. 14 y 18) y el lado meridional de la depresión de Khatanga lo es con el arrumbamiento general de la costa Nord-Siberiana. Esta costa parecería estar constituida por fallamiento, puesto que los viejos sistemas de plegamiento arrumban directamente contra ella.

Si estas interpretaciones resultan correctas, el Mar de Kara es un desgarre tensional situado detrás de la diótesis de Nueva Zembla, y constituye parte de la zona de tensiones repartidas que se asocia al oroclinal de Alaska. Esto suscita la cuestión de la edad del doble oroclinal en el cinturón de Nueva Zembla. El oroclinal de Alaska es, presumiblemente, de edad mesozoica o de principios del Terciario; los Urales son variscos del final, y también son de esta época, probablemente, los pliegues de Nueva Zembla. Pero de acuerdo con la interpretación que acabamos de enunciar, al menos el flexamiento de los pliegues de Nueva Zembla sería apenas más antiguo que principios del Mesozoico. Hay

sin embargo otra posibilidad, la de que el oroelinal de Alaska haya estado en movimiento desde el Paleozoico (véase más arriba la discusión de la relación de desplazamiento transcurrido de Alaska y la falla Glen de Escocia). Digamos para establecer comparación, que la falla de San Andrés en California ha permanecido en movimiento constante desde el Jurásico (Hill. y Dibblee, 1952) y que cualquier movimiento más antiguo no es reconocible a causa de la falta de puntos de referencia.

Resumen de la tensión primaria complementaria del oroelinal de Alaska.

Volviendo a las figs. 13 y 14 ahora, resulta claro que el sector de desgarre de tensión sencilla y abertura de 30° de la depresión Artica y Océano Nord-Atlántico, junto con los desgarres de tensiones repartidas de Baffin Bay, y de los mares de Groenlandia, Barents y Kara, son complementarios, se disponen radialmente con respecto al oroelinal de Alaska y constituyen la tensión primaria requerida por la geometría del gran dobléz. No puede sorprender que un desgarre de la categoría del que formó los Océanos Artico y Nord-Atlántico no se constituya como una sola fractura aislada. Es muy poco probable que la distribución de tensiones haya sido uniforme en toda ese área. Más importante fué quizás aquí la influencia de la falta de uniformidad del material continental. Porque las fracturas parecen haber seguido principalmente las zonas débiles de los pliegues del Paleozoico bajo, y como éstas no corrían exactamente a lo largo de la línea de tensión máxima, la consecuencia fué la creación de una serie de fracturas astilladas en *echelón* (figura 14).

Tensión de segundo orden asociada con el oroelinal de Alaska.

En los casos de los oroelinales del Pirineo y del Beluchistán, había áreas netas de tensión subsidiaria, particularmente en el bloque continental más grande. Lo mismo puede decirse del oroelinal de Alaska, aunque aquí el esquema astillado en *echelón* del desgarre principal indica que las fracturas de tensión subsidiaria tienden a unirse con las fracturas primarias.

Así, el valle de desgarre del Khatanga puede ser considerado como la expresión de una tensión subsidiaria del bloque mayor (compárense las figs. 13 y 14). La falla de Lisboa (figuras 3, 11 y 12) es claramente de este tipo. La fosa del Rhin (figs. 11 y 12) se dispone también radialmente con respecto al oroelinal de Alaska y se integra perfectamente dentro de este gran sistema de tensiones. Muchos escritores han considerado a la depresión rusa oriental situada entre los mares Caspio y Blanco como un cinturón de estiramiento del continente, el cual tiene la posición y carácter de un aflojamiento de tensión radial asociado con el oroelinal de Alaska y con la apertura del Océano Nord-Atlántico. No puede haber duda, por consiguiente, de que hubo de hecho condiciones de tensión, tanto de orden mayor como menor, en los arribamientos y la época requerida por la interpretación oroelinal del arco de Alaska.

Desplazamiento transcurrido asociado al oroelinal de Alaska.

Los oroelinales del Pirineo y del Beluchistán encontramos que estaban asociados con movimiento transcurrido del mismo sentido que la rotación. Testimonio similar encontramos en el caso del oroelinal de Alaska. Discutiré en alguna otra ocasión la cuestión toda de éste y de otros mega-desgarros. Se mostrará entonces que este mega-desgarro sigue el lado Sur oriental del bloque de Groenlandia,

y la margen septentrional del zócalo de Barents-Kara desde Spitzbergen hasta la Península de Taimyr, y después continúa a través de la Siberia oriental a la *Fossa magna* de Honshu y desde allí hasta las Marianas (ver fig. 13). Encontraremos que esta es la línea principal de deslizamiento entre las masas asiática y norteamericana. Mientras tanto, deseo limitar esta discusión al concepto oroclinal, y resistir a la tentación de extenderme al análisis de las estructuras cognatas. Baste señalar que el desplazamiento relativo del bloque americano tiene el mismo sentido con respecto a Asia que su rotación alrededor del oroclinal de Alaska, tal como requiere la teoría física.

Paralelo a este mega-desgarramiento primario de Laurasia, existen otras fallas transcursivas de orden mayor. El mega-desgarramiento de Islandia surge de los oroclinales de Pai Khoi-Nueva Zembla y del límite sur-oriental de la cuenca disyuntiva de Groenlandia oriental (ver fig. 13). Un desplazamiento transcursivo intenso, que se cree corresponder a la edad del Paleozoico superior, ha sido establecido en las Islas Británicas septentrionales (Kennedy, 1946, y Leedal y Walker, 1954). La falla de Glen se cree que se ha desplazado 65 millas, y las fallas de Barnsmore tienen saltos de dos o tres millas. Es quizá significativo que el arrumbamiento y sentidos de movimiento de estas fallas cartografiadas están de acuerdo con el mega-desgarramiento de Islandia.

Restitución del oroclinal de Alaska.

Con objeto de invertir los esfuerzos implicados por el oroclinal de Alaska, es necesario llevar a cabo concurrentemente las siguientes operaciones:

- I) Invertir el desplazamiento transcursivo de unos mil kilómetros a lo largo del mega-desgarramiento laurásico.
- II) Cerrar la tensión repartida de la cuenca groenlan-

desa oriental, Mar de Kara, Estrecho de Davis, Mar de Barents y los estiramientos subsidiarios asociados.

III) Cerrar el sector de desgarre primario girando América unos 28° alrededor del oroclinal de Alaska.

El resultado queda mostrado en la figura 19. Así, la inversión de los esfuerzos visibles de la corteza terrestre reproduce la Laurasia de Du Toit sin el desencaje del Atlántico Norte de Schuchert y sin el dilema de Wegener del ensanchamiento del Estrecho de Bering cuando se desplaza América en dirección a Europa. Los argumentos paleogeográficos usados por Du Toit para construir su Laurasia no han sido empleados en la síntesis presente. Los análisis paleogeográficos y tectónicos, por consiguiente, permanecen como testimonios corroborativos independientes.

Si comparamos las figuras 13 y 19, se encontrará que cada bloque se supone que se extiende hasta la isobata de 2.000 metros. Los desgarres y mega-desgarres limítrofes siguen esta línea muy de cerca. La base estadística para adoptar la isobata de 2.000 metros como límite arbitrario de los bloques continentales se ha dado en otro lugar (Carey, 1955).

La forma de la cuenca de mar profundo entre los bancos de Newfoundland y Groenlandia (fig. 13) sugiere que el bloque de Groenlandia pueda haber encajado originalmente con el zócalo del Labrador, de manera que el cabo Farewell ajuste en el entrante septentrional de los bancos al este de St. John. Sin embargo, esto requeriría a su vez la existencia de un desgarre de magnitud mayor (mega-shear) a lo largo de la costa septentrional de la Isla de Baffin y también de Lancaster Sound, Estrecho de Barrow, y Estrecho de Mc. Clure. Aunque en efecto podría ser así, no hay sin embargo, ningún dato publicado que lo confirme, de manera que no utilizaremos ese argumento en este primer esquema, o intento de restauración, del oroclinal de Alaska. Pero deberíamos tener siempre a la vista que, incluso si resulta válido el oroclinal de Alaska, es necesario acopiar más datos antes

rre del Canal de Robeson, se integran todas ellas como partes de un solo movimiento. Los Urales se convierten en elemento de una estructura dos veces mayor. Las dos críticas clásicas opuestas por Shuchert a esta parte de la teoría de Wegener, el «desencaje Atlántico» y la objeción de que al acercar América a Europa, el Estrecho de Bering se ensancha forzosamente en la misma medida, quedan así solventadas.

7) Los oroclinales pirenaicos, beluchistano y de Alaska reproducen, cada uno de ellos independientemente considerados, fenómenos paralelos: inflexión de los orógenos, sector de desgarre apical, fenómenos de tensión satélites de orden mayor y menor, desplazamientos transeursivos del mismo sentido, paleogeografías coherentes, integración de todas las estructuras de categoría regional grandes y chicas, y la solución automática e inesperada de diversas anomalías. Con toda seguridad resulta altamente improbable que cualquiera de tales coincidencias sea fortuita. Su triple repetición nos parece con toda seguridad que constituye un terreno sólido para la aceptación de la inducción de que los tres doblamientos son, de hecho, oroclinales.

SEIS OROCLINALES EUROPEOS

Excluidos los pliegues del Pirineo y del Ebro, que ya han sido discutidos, pasemos a examinar el esquema de los sistemas de pliegues de edad alpina que nos muestra la figura 20. Inmediatamente nos pone de manifiesto la existencia de seis grandes sinuosidades presentes en los arrumbamientos de los pliegues; son los arcos rifeño, siciliano, ligur, carpático y transilvano, cada uno de los cuales origina rotación de los rumbos de plegamiento en arcos de unos 180° y el doblamiento helénico que gira sus rumbos en ángulo recto. De acuerdo con el objetivo propuesto para esta investigación, veamos cuáles son las consecuencias de admitir la pre-

posición de que estos doblamientos son todos ellos oroclinales, esfuerzos superimpuestos debidos a doblamientos en planta. La figura 21 nos muestra el esquema resultante. Para pasar de la figura 20 a la 21 no se ha hecho otra cosa sino estirar los seis arqueamientos, en aplicación de la hipótesis de que son consecuencia de la acción de esfuerzos superimpuestos. El plan de arrumbamientos permite la elección entre dos soluciones, según que los Apeninos se interpreten como continuación del Atlas, pasando por el oroclinal siciliano, o de los Alpes, pasando por el oroclinal ligur. Cualquiera que sea la modalidad que se adopte no puede haber lugar a duda, sin embargo, de que esta solución resulta mucho más probable que la actual maraña, lo mismo si lo consideramos desde el punto de vista de la paleogeografía, que de la tectónica y sus sistemas de esfuerzos correspondientes.

Esquema tectónico del cinturón alpino.

La distribución actual de las direcciones de compresión: intenso acortamiento nos muestra un esquema desesperadamente caótico, que no se puede resolver mediante ningún sistema racional de organización de esfuerzos. Consideremos, por ejemplo, el arco del Rif, cuyo giro es de unos 180° . El mapa geológico de España a escala de 1:1.000.000 (1951) muestra claramente cómo las direcciones de los ejes de plegamiento y las dos zonas estructurales del geosinclinal alpino continúan suavemente rodeando el lazo. La formación de esta estructura *in situ* exigiría un sistema local de fuerzas intensas actuantes radialmente a lo ancho de dos cuadrantes a partir de un punto situado en el Mediterráneo a unos 70 kilómetros al Este de Gibraltar, o bien un sistema centrípeto, igualmente improbable. Una concentración de fuerzas, incluso más local e intensa, es necesaria en las llanuras milanesas, centro del oroclinal ligur; otra en el mar Tirreno, y aún otra en las llanuras de Hungría. Es

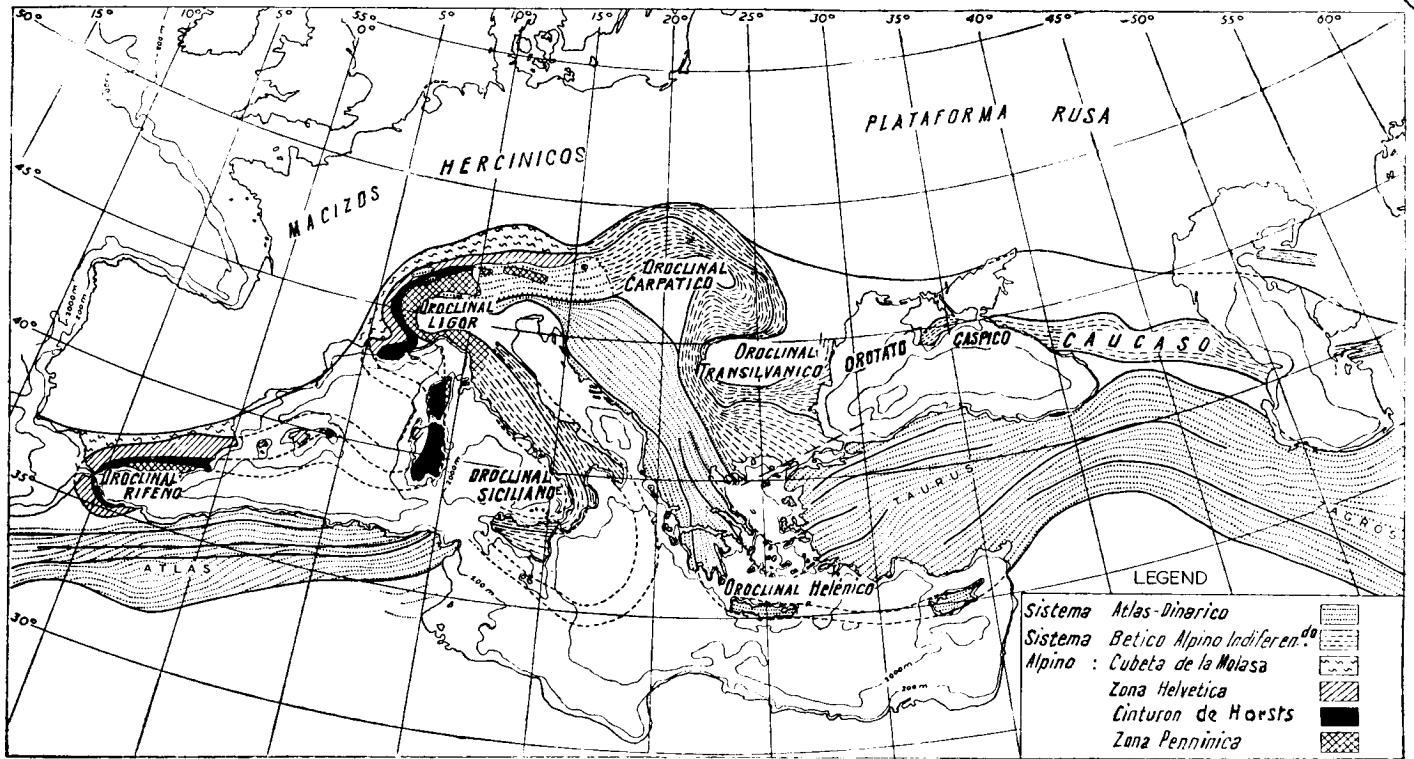


Fig. 20.—Esquema orogénico de Europa.

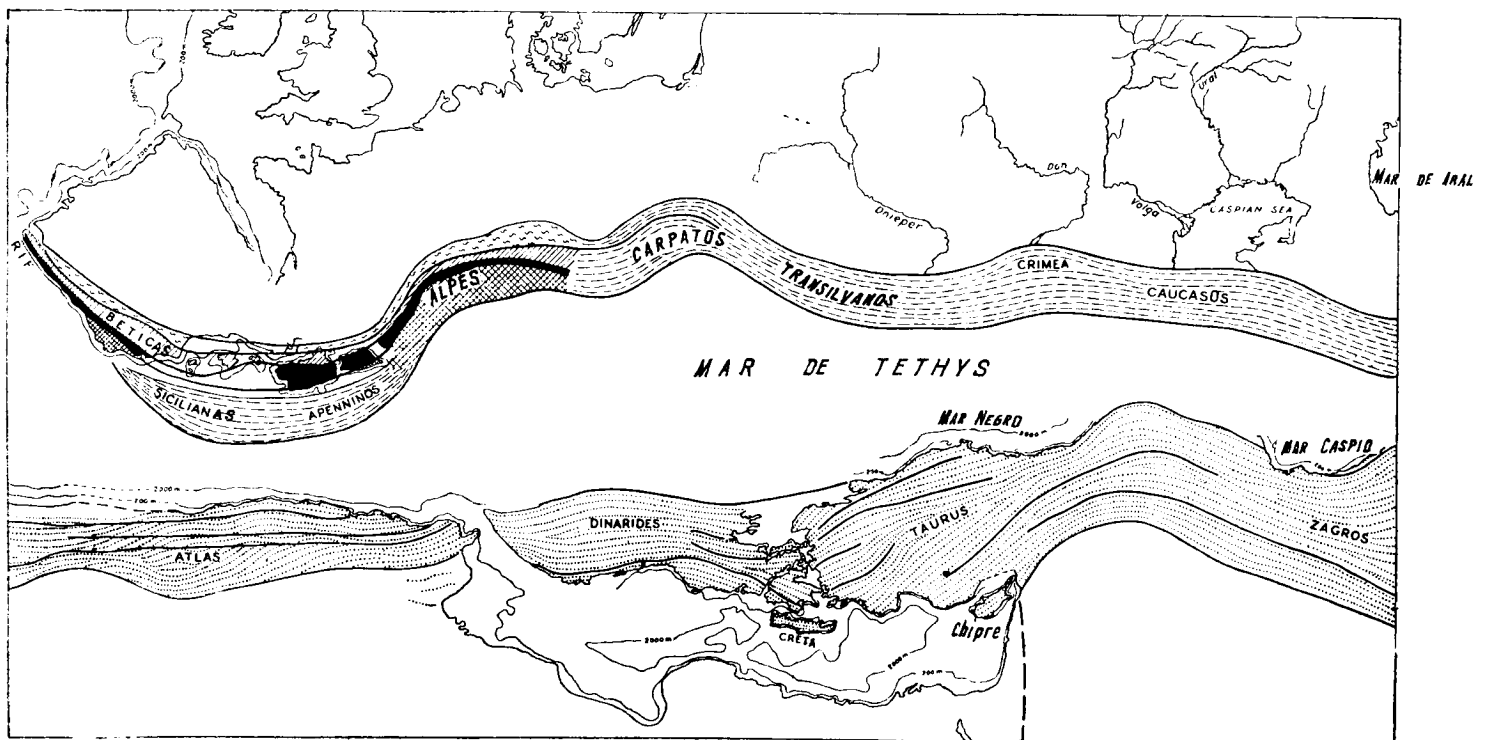


Fig. 21.—Resultado de la restitución de los seis oroclinales europeos.

necesario admitir, además, la actuación de otras fuerzas de compresión bilaterales, igualmente intensas, para explicar los diversos cinturones rectos enlazantes, cuyos rumbos giran alrededor de la rosa de los vientos (p. e. el arrumbamiento apenino forma ángulo recto con el alpino). Es difícil, o más bien, absolutamente imposible, encontrar ningún sistema de esfuerzos coherentes, y todavía más relacionar una imagen tan confusa con ningún esquema tectónico global. Y, sin embargo, estos plegamientos formaron parte clara y evidente de una revolución que se manifestó en cada sector del globo.

Sin embargo, una vez que quedan estirados los oroclinales, el esquema de esfuerzos se simplifica extraordinariamente: dos cinturones orogénicos marginales, se enfrentan a ambos lados del Tethys. Obsérvese (fig. 21) cómo el gran Tethys surge espontáneamente de la restitución oroclinal. El concepto del Tethys fué la primera de entre las ideas paleogeográficas de escala mundial que fué reconocida por los geólogos. ¡Qué complicada resulta su reconstrucción si partimos de la maraña de rumbos y entrecruzamientos de rumbos a lo largo del recorrido desde España hasta Birmania! Y, sin embargo, si admitimos la sencilla inducción de que los doblamientos apreciables en los grandes cinturones orogénicos se deben a esfuerzos superimpuestos, y si luego los deshacemos, ¡entonces es cuando aparece un Tethys sencillo y completo! Parecería que donde quiera que un oroclinal es restituido se alcanza la solución espontánea e inesperada de algún problema de alta categoría.

Distribución de facies en el cinturón alpino.

Pasemos revista, en primer lugar, a la paleogeografía del geosinclinal alpino en el Mediterráneo Occidental, donde el concepto de oroclinal exige que haya sido intensamente recortado por diótesis de gran escala. En su área tipo el

orogéno alpino ha sido dividido en las siguientes zonas de Noroeste a Sureste:

- a) El Zócalo Herciniano, o macizo estable contra el que se pliegan los Alpes.
- b) La zona de Molasa, baja-planicie suiza que consiste en un surco de sedimentos neógenos.
- c) La Zona Helvética, cinturón sinclinal constituido por un sistema de plegamiento y cobijaduras que resulta de la intensa compresión de sedimentos marinos de zócalo del flanco septentrional del geosinclinal principal.
- d) La Zona de Horsts, cinturón anticlinal que expone Horsts del basamento pre-mesozoico, los cuales están arrastrados sobre la Zona Helvética.
- e) La Zona Pennínica, sistema de pliegues y cobijaduras constituida por el acortamiento de los sedimentos de facies geosinclinal.
- f) Las Zonas Dináricas, que están arrastradas en los Alpes Orientales por encima de las zonas de horsts y pennínica.

Cuando nos acercamos a los cinturones plegados, procedentes del Noroeste, la primera estructura continua que encontramos es la Zona de la Molasa, marcada en la fig. 20 por líneas ondulantes de trazos. Se extiende a partir de la llanura suiza, en dirección Este, a lo largo del Danubio superior hasta Viena, y desde allí rodea el arco Carpático perdiendo entonces definición su margen septentrional. Al Suroeste de Ginebra esta tierra baja prosigue por el valle bajo del Ródano hasta el mar. Se reconoce de nuevo claramente en el surco del Guadalquivir, desde Valencia a Sevilla.

Al Noroeste de este surco limitante emergen las plataformas paleozoicas de Europa Occidental, la meseta española, el macizo central de Francia, las Ardenas, los Vosgos, la Selva Negra y las Montañas del Harz y de Bohemia; el conjunto muestra un esquema de abultamiento y depresión. Es característico de las estructuras de estos macizos su oblicuidad con respecto al arrumbamiento alpino, contra el que

se estrellan sucesivamente. En algunos sitios de la margen septentrional del Surco de la Molasa se manifiestan elementos locales con arrumbamiento alpino, tales como, por ejemplo, las montañas del Jura, aunque incluso aquí hay un brazo de la tierra baja neógena que sube a lo largo del valle del Garona por detrás del Jura.

La Zona Helvética, rayada en la fig. 20, aparece claramente definida en los Alpes Occidentales y continúa hasta el mar en las proximidades de Tolón y Marsella. Formaciones de esta facies, sin horsts del basamento, se presentan también en la esquina noroeste de Cerdeña, y en el cinturón nor-este de la Cordillera Bética española, desde donde continúa por el otro lado del Estrecho de Gibraltar, rodeando el arco rifeño. Pudiera ser muy bien que también el cinturón Nor-este de Mallorca e Ibiza, en las Baleares, se integre en este conjunto.

La zona anticlinorial de horsts de basamento se representa en la fig. 20 en fondo negro. Esa mancha negra representa el área en que se manifiestan, porque no son continuos. En los Alpes están representados los horsts en los macizos de Aar, San Gotardo, Aiguilles Rouges, Mont Blanc y de Grenoble; por el núcleo de los Alpes Marítimos, y por los Maures, entre Cannes y Tolón. Córcega y Cerdeña están compuestos en gran medida de granito y rocas paleozoicas cuyos caracteres tectónicos encajan bien en esta zona. Lo mismo ocurre, por parte, con las Islas Baleares, especialmente Menorca, que muestra afloramiento de base de formaciones del Carbonífero. El cinturón costero español entre Gibraltar y Cartagena, incluida Sierra Nevada, está compuesto en gran medida por rocas de basamento, principalmente cristalinas pre-cambrianas de las series de Estrado, estratos silurianos y granitos. Sin embargo, muchas de estas rocas son alóctonas y representan las zonas nucleares de mantos de corrimiento del conjunto pennino. Los cinturones son mucho más complejos en detalle que lo que indica la figura 20, pero el esquema de distribución regional, que es de

transcendencia para el objeto de la presente discusión, no queda afectado por esta complejidad. Este cinturón de rocas pre-triásicas se prolonga al otro lado del Estrecho de Gibraltar y rodea la costa frontal del arco del Rif hasta la Bahía de Alhucemas.

La Zona Pennina de los Alpes, que se muestra en la figura 20 con rayado cruzado, con sus pizarras lustrosas y sus ofiolitas, se prolonga sin interrupción alrededor del arco ligur más allá de Génova, Spezia y Leghorn, adentrándose en Toscana. El ángulo Noreste de Córcega y gran parte de la Cordillera Bética pertenecen también a esta facies.

La Zona Dinárica, mostrada en punteado en la fig. 20, es de carácter totalmente alócteno en los Alpes propiamente dichos. Sus raíces residen en una zona muy estrujada que se extiende en dirección al Este a partir de las proximidades de Turin y de las colinas lombardas. Yace como un arrugado manto sobre los Alpes Orientales y restos aislados en los occidentales; el manto de Dent Blanche y los Pre-Alpes de las costas del lago de Ginebra pudieran encajar aquí. La Zona Pennina aflora a través de este manto en el Engadin, Hohe Tauern, y quizá en las ventanas de Semmering. La margen oriental del manto dinárico alóctono no ha podido ser identificada con claridad.

Hasta ahora he resumido la distribución de los elementos faciales del geosinclinal alpino tal como se presentan hoy en día. Ofrecidos en esta forma componen un cuadro desesperanzadoramente caótico, tanto desde el punto de vista paleogeográfico como del diastrófico. Si seguimos cualquiera de esas facies encontramos transposiciones, cambios de rumbo, amplias discontinuidades ocupadas por mares profundos que apenas puede considerarse que alberguen la misma facies. Estas discontinuidades ofrecen anomalías positivas leves de la gravedad, no negativas e intensas como las tendrían si fueran segmentos hundidos. Pero cuando se restituyen los oroclinales, el geosinclinal alpino, desde los Cárpatos hasta el Rif, se convierte en un geosinclinal normal

con su antepaís, antifosa, cinturón, miogeosinclinal con facies calizas, umbral geanticlinal con sus interpliegues de material de basamento, y surco profundamente en geosinclinado con facias de grauwackas, ofiolitas, granitos modernos y falta de calizas. La esquina noroeste de Cerdeña ofrece una gran analogía de facies con respecto al ángulo noreste de la Península Ibérica, contra el que lo coloca la restitución. La analogía es ciertamente tan estrecha, que las rocas cerdeñas se clasifican comúnmente como de facies «andaluzas». Debería subrayarse que esta integración se logra sin una preparación previa de las posiciones de los fragmentos. Estiremos meramente los oroclinales allí donde se encuentren, cerrando los boquetes triangulares de desgarramiento de los mares Ligur y Tirreno (compárese su morfología en la figura 20 con las del Golfo de Vizcaya y del Mar Arábigo, y el geosinclinal alpino, antes truncado, se une de nuevo en una unidad susceptible de ser comprendida. Esta integración supone, por consiguiente, una confirmación independiente de la probable solidez de la inducción oroclinal.

Relación de los oroclinales europeos con respecto a los plútonos.

Los seis oroclinales europeos difieren de los de Alaska y Beluchistán en que se han desarrollado en proceso de diótesis. Cuando un orógeno permanece en contacto con su cratón asociado, cualquier oroclinal que se desarrolle en él debe presentar convexidad hacia el cratón, y va acompañado por una abertura o boquete triangular de desgarramiento, dispuesta radialmente con respecto al oroclinal.

Sin embargo, cuando ha tenido lugar una diótesis y el orógeno ha sido arrancado y, por decirlo así, liberado del cratón mediante formación de una cuenca disyuntiva creada entre el orógeno y el cratón, los oroclinales pueden ofrecer hacia el cratón lo mismo concavidad que convexidad. Sin embargo, estas circunstancias crean más probablemente oro-

clinales. Los orógenos libres de este tipo corresponden a los pliegues alóctonos de los cortes verticales. Los oroclinales europeos pertenecen a este grupo, y se encontrarán muchos más ejemplos, generalmente asociados a orotaces satélites. Se describirán en el momento oportuno.

Soldadura del oroclinal del Rif.

Examinemos los sitios en que la interpretación oroclinal exige la soldadura de macizos antes ampliamente separados: la zona del Rif al Norte de África, y el cinturón dinámico a los Alpes y Cárpatos surorientales.

Consideremos, en primer lugar, la zona del Rif. Se sabe lo suficiente acerca de la geología a ambos lados del Estrecho de Gibraltar como para poder dar por seguro que los cinturones de plegamiento de la Sierra Nevada española y de la Cordillera Bética se prolongan al otro lado del Estrecho y giran hacia el Este para formar la Cordillera del Rif en el antiguo Marruecos español. Este concepto fué reconocido por Habernicht (1881) y adoptado por Suess (1885) y, aunque se han expresado diversas opiniones en contra (p. e. Kober, Staub y otros), como señala Bailey (1953) «el incremento de conocimientos ha demostrado que sus ideas son inaceptables». El mapa geológico de España a escala 1:1.000.000 (1951) muestra claramente que las direcciones de los ejes de plegamiento y de las dos zonas del geosinclinal alpino (las zonas helvéticas y de horsts geanticlinales) giran continua y suavemente rodeando el arco, y Bailey (*loc. cit.*) ha repetido recientemente que los intensos desplazamientos horizontales y los mantos se despliegan de manera análoga alrededor de aquel.

La continuidad estructural de las Cordilleras Bética y del Rif implica que este último, que actualmente forma parte de África del Norte, debe haber participado de cualquier rotación de la Península Ibérica, y que su soldadura con respecto a África no será más antigua que el Terciario

bajo. Pero carecemos de suficiente criterio, si nos basamos en la información de que disponemos, para establecer la zona donde debe buscarse la junta. Sin embargo, debería encontrarse muy al interior, por lo menos tanto como el arco trazado por Larache, Alcazarquivir y Uazán, para continuar desde allí, paralelamente al arrumbamiento de los pliegues de Rif, y adentrarse en el Mediterráneo por el Oeste del Cabo Tres Forcas. Este completo arco rifeño, tan íntimamente relacionado con el arco Bético, es desde el punto de vista morfológico, como un injerto clavado en el orogeno atlásico. Por consiguiente, lo hemos considerado como parte de España y queda separado de Africa cuando invertimos la rotación de la Península Ibérica. Lo que relega el Atlas a un simple cinturón de plegamiento normal (fig. 21).

Soldadura del cinturón dinámico.

La línea que corre desde las colinas de Lombardía próximas a Milán, hasta próxima la confluencia de los ríos Mura y Drava al Noreste de Zagreb, la cual marca la soldadura del cinturón dinámico a los Alpes propiamente dichos, es una de las zonas más apretadamente comprimidas de cabalgamiento de la región alpina. Además, los mantos que se consideran como desprendidos de este confuso sector de la zona dinámica se describen como resultado de arrastre sobre los Alpes Orientales que ocultan los mantos helvético y pennino de los Alpes propiamente dichos, excepto donde pueden ser vistos a través de las ventanas del Engadin y Hohe Tauern. Del mismo modo la soldadura implicaría entre los Dináridos meridionales y las cadenas de Stara Planina de Bulgaria está señalada por una zona de intenso acabalgamiento que se desarrolla desde Belgrado hasta cerca de Salónica. Estos hechos están de acuerdo con la reconstrucción propuesta, aunque también pudieran estarlo con otras hipótesis. Se señalan meramente como confrontación más bien que como testimonio argumental.

El oroclinal helénico es más un doblez en ángulo recto que un arco continuo, y el hecho de que esté interrumpido por un mar, en parte bastante profundo, sugiere que haya

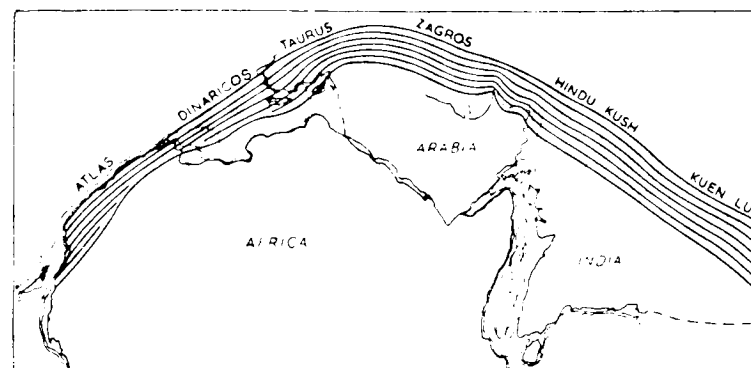


Fig. 22. Porción Tethys de Gondwana tal como resulta de la reversión de los oroclinales europeo y beluchistano.

experimentando un estiramiento tensional radial, al mismo tiempo que doblamiento. Cuando se estira, se cierra, y se combina con los movimientos del oroclinal beluchistano, Atlas, Dináridos, Taurus, Zagros e Himalaya forman un cinturón continuo hasta los Estados de Shan, un arco de 100 grados ó 7.000 millas (fig. 22). Esta integración es otro logro, independientemente alcanzado, del concepto del oroclinal.

Dobrudja, Crimea y Cáucaso.

La muy extensa sedimentación neogena y cuartaria de las regiones septentrionales de los mares Negro y Caspio oscurece la relación que pueda existir entre la Crimea y el Cáucaso con respecto al antepaís ruso. Sin embargo, las discontinuidades existentes entre la Dobrudja, Crimea, Cáucaso y las montañas de Akhal Tekke al otro lado del Caspio, sugieren que se trate de un orotaz u orogeno estirado, que se cerraría por enderezamiento de los oroclinales carpato o

transilvano. Esta interpretación es la que se ha adoptado, provisionalmente, en la fig. 21. Esto exigiría que la plataforma rusa no se extienda mucho más allá por el Sur de Odessa, Rostov y la Península de Magyshlak y que las llanuras aluviales más al Sur oculten un antiguo mar disyuntivo, tan profundo como el mar Negro, que ligase anteriormente los mares Negro y Caspio por el Nerte del Cáucaso.

Críticas a la restitución europea.

Aunque la simple hipótesis de que todos los grandes doblamientos sean oroclinales satisface hasta un grado sorprendente, presenta, sin embargo, anomalías. En primer lugar se han establecido correlaciones entre los Apeninos, y ambos Atlas y los Dináridos meridionales. Por otra parte, es desde luego muy posible que tales semejanzas sean casuales y expresen semejanza de facies más bien que identidad. Además, siempre se ha dicho que los Apeninos ofrecen sus cobijaduras en dirección hacia el Noreste, contrariamente a la dirección de las cobijaduras alpinas y béticas con respecto al orogeno restituido.

La solución a estas anomalías puede residir en la interpretación dada a los Apeninos como continuación del Atlas, y no del arco ligur. En este caso, la continuidad del orogeno meridional quedaría establecida como sigue: Atlas, boquete tensional, oroclinal siciliano, Apeninos, un orotaz atenuado rodeando el Valle del Po hasta los Dináridos. Y el orogeno septentrional estaría constituido por los Alpes, oroclinal ligur hasta los Apeninos toscanos, y desde allí, con varias discontinuidades, hasta las zonas bética y rifeña. Esta imagen se aproxima a la síntesis de Stille y se puede conciliar muy bien con el concepto oroclinal. Sin embargo, al establecer la confrontación inicial de la inducción del oroclinal, el autor ha seguido deliberadamente la que estimó como interpretación más sencilla de la morfología de los rasgos para averiguar adónde le llevaría tal inducción.

Resumen de los oroclinales europeos.

La sencilla inducción de que los seis grandes giros en las alineaciones de rumbos europeos son debidos a esfuerzos superimpuestos, transmuta el caos tectónico en coherencia tectónica. Las estructuras alpinas encajan entonces de manera lógica en una estructura de orden mayor que abarca a toda Asia. Por primera vez alcanza sentido el concepto de geosinclinal alpino. El gran Tethys emerge del enderezamiento de los pliegues alpinos, como tiene que ocurrir, porque nada hay más cierto que el que la inversión del plegamiento alpino debe reproducir el Tethys.

PAPEL DEL CONCEPTO OROCLINAL EN GEOTECTÓNICA

La presente comunicación no es sino el comienzo de un nuevo enfoque de la Geotectónica. Se han discutido unos pocos ejemplos de oroclinales con algún detalle y otros varios con mayor brevedad. En conjunto se han descrito doce oroclinales en forma de diagrama. Hay 25 doblamientos de orden mayor, de este tipo, sobre la faz de la Tierra, todos ellos con más de 30 grados de desviación. Ninguno de ellos proporciona resultados contradictorios, ni paleogeografías improbables cuando se establece la hipótesis de que el arqueamiento constituye de hecho un oroclinal; en cada caso tenemos testimonios que sustentan la interpretación oroclinal, y como en los casos que se han discutido aquí, resultan soluciones inesperadas a otros problemas.

A pesar de la universalidad de estos resultados parece que no haya razón a priori para suponer que todos los cinturones orogénicos sean necesariamente rectos o apenas ligeramente curvados. Cada oroclinal debe justificarse a sí mismo por su propio testimonio interno.

Al comienzo de esta discusión quedó señalado (fig. 1 et-

cétera) que debería esperarse deformación en planta, en gran escala, en todos los casos de terrenos orogénicos.

No hay razón lógica por la que los movimientos orogénicos tuvieran que exigir únicamente (ni siquiera comúnmente) movimientos puramente paralelos, tal como se ha aceptado implícitamente en el pensamiento tectónico al uso. El oro-clinal es uno de los tipos posibles de tales deformaciones en planta, pero hay otros, tales como estiramiento, desgarre disyuntivo y desplazamiento transcurso. Es lógico pensar que pueda presentarse cada uno de ellos, con magnitudes de desplazamiento comparables a las de los acortamientos compresivos, es decir, de cientos de kilómetros. El autor ha seguido esta inducción y ha encontrado que hay testimonio, tan convincente como el que se expone aquí en apoyo del oro-clinal, que indica que de hecho existen estructuras de cada uno de estos tipos, del orden de magnitudes expresado, y que junto con los oro-clinales constituyen las estructuras de primera magnitud del globo. Este testimonio será presentado en su momento.

Reconocimientos.

Este trabajo fué llevado a cabo, en parte en la Universidad de Tasmania, en parte en la Escuela de Investigaciones de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Australiana. El autor desea expresar su agradecimiento a los profesores Marcus Oliphant, J. C. Jaeger, Arthur Holmes y al doctor W. R. Browne, por su consejo y útil crítica. Gracias también son debidas a la Universidad Nacional de Australia por haber subvencionado el coste de los bloques litográficos.

BIBLIOGRAFÍA

- AHMAD (F.): *Geology of the Gondwanas*. Thesis, Geology Dept., University of Tasmania (1952).
 BAILEY (E. B.): *Notes on Gibraltar and the northern Riff*. «Q. J. G. S.», 430, CVIII, pp. 157-175 (1953).

- BARTHOLOMEW (J.): *The Advanced Oxford Atlas*. Oxford Univ. Press. (1931).
 — — — *The Advanced Atlas of Modern Geography*. Meiklejohn, London (1950).
 BUCHER (W. H.): *The Deformation of the Earth's Crust*. Princeton. (1933).
 BULLARD (E. C.) and GASKELL (T. F.): *Submarine Seismic Investigations*. «Proc. Roy. Soc.», A, No. 971, Vol. 177, pp. 476-498 (1941).
 CAREY (S. W.): *Fluid Geotectonics*. «Geol. Soc. Aust., News Bull.», 2, 2, pp. 1-3 (1954 A).
 — — — *The Rheid Concept in Geotectonics*. «Geol. Soc. Aust., Journ.», 1, pp. 67-117 (1954 B).
 — — — *Wegener's South America-African Assembly, Fit or Misfit?* «Geol. Mag. (in press) (1955).
 DE TOIT (A. L.): *Our Wandering Continents*. Oliver and Boyd, London (1937).
 HABERNICHT (H.): *Die Grundzüge im geologischen Bau Europas*. Gotha. (1881).
 HESS (H. H.) and MAXWELL (J. C.): *Caribbean Research Project*. «Bull. Geol. Soc. Am.», 64, 1, pp. 1-6 (1953).
 HILL (M. N.) and KING (W. B. R.): *Seismic prospecting in the English Channel and its geological interpretation*. «Q. J. G. S.», 109, 1-20 (1953).
 HILL (M. N.) and LAUGHTON (A. S.): *Seismic observations in the Eastern Atlantic*. «Proc. Roy. Soc.», A, 1150, 222, pp. 348-356 (1954).
 KENNEDY (W. Q.): *The great Glen fault*. «Q. J. G. S.», 405, CII, pp. 42-72 (1946).
 KING (W. B. R.): *The geological history of the English Channel*. Anniversary Address, «Q. J. G. S.», 437, pp. 77-101 (1954).
 LEEDAL (G. P.) and WALKER (G. P. L.): *Tear faults in the Barnsmore area, Donegal*. «Geol. Mag.», NCI, 2 (1954).
 LEES (G. M.): *The geological evidence of the nature of the ocean floor*. «Proc. Roy. Soc.», A, 222, pp. 400-402 (1954).
 OFFICER (C. B.): *South-west Pacific Crustal Structure*. «Trans. Am. Geophys. U.», 35, 2, p. 356 (1954).
 SUSS (E.): *Das Antlitz der Erde*. Prague and Leipzig (1885).
 TAYLOR (F. B.): *Sliding Continents and tidal and rotational forces*. «Am. Assoc. Petrol. Geol.», Symposium on «Theory of Continental Drift», Tulsa (1928).
 UMBROVE (J. H. F.): *The Pulse of the Earth*, 2nd Ed. Nijhoff, The Hague (1947).
 WEGENER (A.): *The Origin of Continents and Oceans*. (English trans. by J. G. A. Skerl.), London (1924).
 WEGMANN (C. E.): *Geological tests of the hypothesis of continental drift in the Arctic regions*. «Meddelelser om Gronland», Bd., 144, Nr. 7 (1948).

Diciembre 1956

Memoria acerca de la organización y resultados logrados
en el Segundo Campamento para prácticas de Geología
«Panticosa-1956»

POR

JOSE MARIA RIOS

Profesor de Geología en la Escuela Especial de Ingenieros
de Minas, organizador y director del Campamento

JOSE MARIA RIOS

Profesor de Geología en la Escuela Especial de Ingenieros
de Minas

MEMORIA ACERCA DE LA ORGANIZACION
Y RESULTADOS LOGRADOS EN EL SEGUNDO
CAMPAMENTO PARA PRACTICAS DE GEOLOGIA
«PANTICOSA-1956»

Por segunda vez he podido llevar a cabo, con toda felicidad, la iniciativa, voluntariamente iniciada, de los campamentos para prácticas de Geología.

En la memoria correspondiente al campamento del pasado año (1) expliqué cómo surgió la idea de realización de estos campamentos, qué objetivos cumplen y cómo se desarrolla su organización y marcha. Por otra parte, he tenido la satisfacción de ver cómo mi idea fué acogida calurosamente, tanto por las autoridades del Ministerio de Educación Nacional y de la Escuela de Minas, como por los alumnos, tanto de la Escuela como de otros Centros universitarios y técnicos, del país y del extranjero, así como por las empresas en cuyo apoyo económico se basa principalmente su financiación, ayuda que no me ha faltado en casi ningún caso.

(1) *Memoria acerca de la organización y resultados logrados con el Primer Campamento para prácticas de Geología*, J. M. Ríos, N. y C. DEL I. G. y M. de E., núm. 40, 1955.

Las tareas de organización del segundo campamento se iniciaron inmediatamente después de la cancelación de cuentas e inventarios del primero.

El examen de los logros alcanzados, de las dificultades salvadas y de las posibles mejoras, fué satisfactorio. En realidad la marcha del primer campamento fué tan normal, a pesar de dificultades graves e imprevistas, rápida y eficazmente resueltas, que decidí no variar nada fundamental, y, por decirlo así, calcar el segundo campamento sobre las huellas del primero.

Me propuse, en vista del interés despertado, ampliar el número de plazas, aunque es evidente que no puede aumentarse el actual sin gran desventaja, a menos que se dé otra organización nueva, cuyo peso no podría recaer en una sola persona. Por consiguiente, todas mis actividades se orientaron a preparar la organización para que fuese capaz de admitir un número mayor de participantes.

Solicité del Ministerio de Educación Nacional, y conseguí, mediante el apoyo de la Dirección de la Escuela de Minas, un crédito de 25.000 pesetas, con el que adquirí una serie de materiales de campamento, cuya falta se había hecho notar incluso el año anterior.

Un detalle muy importante, la mala calidad de los mapas topográficos de la región y copias (2), que constituyeron un serio entorpecimiento para los trabajos de la campaña de 1955, fué corregido, preparando, para este objeto exclusivo, una copia realizada en la oficina de delineación del Instituto Geológico, que permitió obtener reproducciones perfectas. Armados con buenos mapas base topográficos

(2) Se trataba de una hoja cuya edición original estaba agotada; mientras tanto se ha publicado, por el Instituto Geográfico y Catastral, una nueva edición.

cos, la tarea geológica ha ganado considerablemente en rapidez y perfección.

No he podido resolver, por ahora, la dificultad que resulta de la falta de tiempo para trabajar la totalidad de los datos de cada campaña antes de iniciar la siguiente. La sujeción escolar de los alumnos y mis propias ocupaciones no dieron lugar sino a la preparación de parte de los datos recogidos. No obstante, todos los fósiles quedaron clasificados y las rocas estudiadas, estas últimas por don Antonio Baselga, ex profesor de Mineralogía y Petrografía de la Escuela de Minas, y aquéllos por don José de la Revilla, ayudado por don Pablo Yagüe, participante este último en el segundo campamento. Más de 240 muestras en total, lo que exigió gran esfuerzo.

Por mi parte, estudié y preparé mis propias observaciones de campo y las de alguno de los equipos participantes, lo que me permitió trazar un mapa, que ha sido la base o punto de partida para la campaña de 1956.

El profesor A. F. de Lapparent envió un resumen muy interesante, e ilustrado con magníficas fotografías, de las observaciones recogidas durante sus recorridos.

Igualmente lo hicieron los señores García Rodrigo, Guérangé, Kübler y Truyols. Todos estos datos serán incluidos, en su día, en la «Memoria Explicativa de la Hoja de Sallent», o quizá en alguna monografía especial, junto con la totalidad de los que se hayan recogido cuando se dé el trabajo por terminado.

También la actividad de los participantes fotógrafos dió frutos interesantes y se reunió abundante ilustración gráfica, mucha de ella de gran calidad.

De modo que para empezar la campaña de 1956 contábamos, en primer lugar, con un excelente mapa base a es-

cala 1: 25.000, y más adelante, con la nueva edición del 1: 50.000; con una serie de jalones estratigráficos y tectónicos registrados en un mapa geológico a escala 1: 25.000, que delinea las características generales o rasgos más salientes de toda la región estudiada y la de algunas zonas incluso con detalle, y con un estudio de la fotografía aérea de la Hoja de Sallent, preparada sobre una hoja topográfica a escala 1: 50.000.

Por consiguiente, teníamos ya una buena base para punto de partida, creada por nosotros mismos, en el momento de comenzar, con el segundo campamento, el ataque a fondo de los problemas que el primero había señalado ya como de gran dificultad. No había nada de la presunta relativa sencillez que parecía deducirse de los pocos estudios realizados por geólogos en épocas anteriores.

La convocatoria inicial del segundo campamento demostró, con gran número de inscripciones provisionales, el interés despertado entre los alumnos y también entre las gentes de fuera por el éxito del primero.

El problema consistía ahora en encontrar medios económicos para financiar esta empresa, con crecido número de participantes. La ayuda oficial no se ha solicitado, por ahora, más que para dotar a la organización de material, pero el funcionamiento, por conservar la máxima independencia y libertad de acción, es por ahora, y lo será mientras seamos capaces de mantenerlo así, autónomo e independiente.

Las siete empresas mineras a quienes acudí en demanda de ayuda económica, la dieron generosísimamente y con prontitud. Les expreso desde aquí mi reconocimiento, también en nombre de todos los participantes.

En la organización y en el desarrollo del campamento me vi auxiliado, con la misma eficacia y capacidad que e

año pasado, por don José García Rodríguez, alumno de segundo año, que ya actuó como Secretario en el desarrollo del primer campamento.

Acepté un total de 21 solicitantes de alumnos de la Escuela, todos ellos de cuarto curso. Firmaron inscripciones también los señores A. F. de Lapparent, profesor de Geología en el Instituto Católico de París, quien participó ya en el campamento del año pasado, y su ayudante, Doctor P. Cavet. Desgraciadamente, y por haber sido encargado el profesor De Lapparent de la organización de la excursión veraniega anual de la Sociedad Geológica de Francia, se vió obligado a cancelar su inscripción junto con la del Doctor P. Cavet. Se inscribieron también, y asistieron, el señor M. Casteras, profesor de Geología de la Universidad de Toulouse, y su ayudante, M. Mirouse, agregado a la misma cátedra, así como el Dr. don Francisco de Pedro Herrera, Jefe del Laboratorio de Petroquímica del Instituto «Lucas Mallada» de Geología, y don José Baena Pérez y don José Iraola Múgica, alumnos de Ciencias Geológicas en la Universidad de Barcelona, si bien este último se vió obligado a desistir de su asistencia por razones ajenas a su voluntad. Finalmente, y en el último momento, se agregó a la expedición don Pablo Yagiie, Ayudante del Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico.

Por consiguiente, se reunió un total de 26 participantes que, con el Director y Secretario, componíamos un conjunto de 28 personas (foto 1) (véase apéndice I), un poco excesivo para ser cómodamente manejable, dada la superficie de la región en estudio, y el tipo y medios de organización actuales, pero me resultaba penoso negar acceso al campamento a cualquier persona que manifestara interés por él.

La experiencia del año anterior señaló la gran ventaja que tendría el disponer de dos vehículos en vez de uno, para la mayor rapidez del reparto y recogida de equipos al iniciar y terminar cada campaña de dos días. Situada la base en el nudo de carreteras a media altura de la zona, la utilización de dos vehículos, uno para repartir la gente en la zona Norte, otro hacia la zona Sur, permitía una distribución simultánea de la gente, con gran ganancia de tiempo utilísimo. El incremento de participantes lo hacía casi imperativo. Afortunadamente, pudimos obtener del Parque Móvil el alquiler de dos vehículos del mismo tipo que el utilizado el año pasado, dos furgonetas «Citroën» (fotos 14 y 30), excelentemente apropiadas para este tipo de trabajo.

A pesar del incremento de gastos y de que la cuota del año anterior no llegó a cubrir ni siquiera la mitad del importe de aquéllos (véase apéndice IV) y de que, debido a que no contábamos, ni siquiera parcialmente como en 1955, con el Albergue del S. E. U., de modo que la estancia por todo el tiempo y para toda la gente tenía que ser en un hotel, con el correspondiente aumento de gastos, no me decidí a aumentar el importe de 750 pesetas de la matrícula del año anterior.

Como objetivo de trabajo teníamos la misma zona del año anterior, o sea la zona de Sallent (fotos 9 y 38), menos el Valle de Canfranc y la parte septentrional de la de Sabinánigo, pero este año ampliamos nuestros estudios en ésta, extendiendo los reconocimientos por una faja más amplia por el Sur que el año 1955.

Los problemas que plantea esa región se dividen en tres tipos bien netos: por un lado, los de la zona de granitos (fotos 6, 10 y 18) situados en la zona fronteriza, desde poco más al Sur del Balneario de Panticosa hasta adentrarse en

Francia, y sus aureolas de granitización decreciente. Por otro lado, los de las áreas paleozoicas (fotos 12, 25 y 35) en que enclavan estos granitos y que se extienden en faja por las zonas septentrional y media de la hoja. Finalmente, los de las áreas cretáceas (fotos 2, 7 y 19) y eocenas que trasgreden al Paleozoico y que se extienden por la zona meridional de la hoja y por la de Sabinánigo, contigua por el Sur.

Recordemos que se trata de país de alta montaña que culmina en el Balaitus (3.151 m.), en la zona de granito, y en el Tendeñera (2.853 m.) y Collarada (2.886 m.) en la zona de Cretáceo, y son infinidad las cotas que exceden de los 2.000 metros, mientras que los valles tienen sus fondos a 1.000-1.500 metros, de modo que el relieve es, en general, muy abrupto y a veces salvaje.

Las zonas más duras y difíciles las constituyen los macizos de Balaitus, de Peña Foradada, Picos del Infierno, Piniecho, Yenefrito y Mallaruego, en las áreas de granitos y paleozoico y las Sierras Telera y Tendeñera en las cretáceas, estas últimas sobre todo en su vertiente septentrional, que ofrece escarpes casi siempre impasables. Es país que, en circunstancias desfavorables o para gente poco preparada o imprudente, puede convertirse fácilmente en peligrosa. Pero también es región de gran belleza y extraordinario atractivo.

Desde un punto de vista geológico, ya se manifestó el primer año como muy difícil, sobre todo en las zonas graníticas, y aún más en las paleozoicas. Es de sobra conocido que cualquier granito, donde quiera y como quiera que se presente, constituye siempre un problema si se quiere atacar a fondo. Los de esta región presentan características peculiares que, si por un lado hacen más difícil su estudio,

les prestan, por otro, también extraordinario interés. El Paleozoico, constituido por Siluriano, Devoniano y Carbonífero, presenta, sobre facies litológicamente poco distintas y difícilmente discernibles entre sí, relativa pobreza paleontológica y una tectónica difícil por su extrema violencia y complejidad.

El Permo-Trías, que reposa en mancha discordante sobre el Paleozoico, no presenta grandes dificultades, pero su tectónica es también movida y su estudio requiere tiempo.

Las áreas cretáceas no presentan gran complejidad tectónica, pero sus contactos y perfiles son variados y recortados y enclavan sobre todo, en gran parte, en zonas de difícil acceso y sumamente abruptas, lo que dificulta en gran medida su estudio. Pero, en cambio, es aquí donde la fotografía aérea presta su máxima y muy eficaz ayuda.

El estilo de las áreas cocenas se comprende fácil y rápidamente, pero su cartografía detallada y la representación de sus accidentes tectónicos requieren mucho trabajo y exigen gran atención.

El mecanismo del campamento fué análogo al del anterior, ya descrito en la memoria de 1955, de modo que no insistiré sobre él. Salidas de dos días, pernoctando en el monte, bajo la lona (fotos 3, 18 y 31), la noche intermedia; y un día de estudio de datos, en la base, entre salidas. Todo ello tras cuatro días iniciales de entrenamiento físico y geológico (fotos 5 y 8), en grupo conjunto, en que se reconocen las zonas más típicas y características de entre las más accesibles y representativas de todas las formaciones geológicas.

Distribuí la gente originalmente en nueve grupos, pero por conveniencia de acople e incidencias de orden menor suprimí en seguida el grupo número 7.

A cada uno de ellos le fué asignada un área. Los equipos 1, 2, 3 y 4 se repartieron la zona septentrional, frontiza, de granitos y Paleozoico, de alta montaña. El equipo 3 tenía a su cargo la zona de más intenso dominio granítico y metamórfico, e iba a su cabeza el Dr. De Pedro Herrera; su misión era fundamentalmente petrográfica y gozó de cierta autonomía. Por razón de su alejamiento, permaneció algún tiempo sin relación con la base, lo que resultó una experiencia de interés para futuras orientaciones en la organización. Los grupos 5 y 6 tenían por misión el estudio de las zonas cretáceas y cocenas de Sierra Tendeñera y Tellería, respectivamente.

Los equipos 8 y 9 habían de realizar el estudio de las zonas de los valles de Lana Mayor, Escarra y parte baja del valle del Gállego, donde probablemente reside la clave fundamental de los problemas estratigráficos.

Por mi parte, dediqué mi atención, preferentemente, este año, ya que el anterior había dado un vistazo a casi todas las zonas, a las Sierras meridionales de Tendeñera y Tellería y zona cocena al Sur de ellas, que quedaron vistas y terminadas en todo lo fundamental. Tarea que realicé formando parte de los equipos 5 y 6. No había visitado el año pasado la zona del Collado de Tendeñera, en el extremo oriental de la hoja, por lo que completé una jornada con el equipo 4, pernoctando al pie mismo del Coll, en la hoja contigua. Otra la dediqué a acompañar a los señores Casteras y Mirouse, y otras jornadas acompañé parcialmente a los equipos del valle.

El profesor Casteras, con su agregado señor Mirouse, realizaron, con independencia de los equipos, diversos recorridos en las zonas de máximo interés.

De esta manera, y a lo largo de dieciocho jornadas de

trabajo, se fueron completando las tareas del segundo campamento iniciado el día 1.º de julio, y que terminó con una cordial comida de despedida (foto 44) en los terrenos del Balneario de Panticosa, cedidos amablemente por su Dirección el día 18 de julio. El día 19 se disgregó el campamento, dispersándose sus elementos componentes.

Todo había funcionado, como en el año anterior, sin el más mínimo entorpecimiento y con exactitud cronométrica, con respecto a los planes trazados. No hubo accidente alguno, ni apenas enfermería. El espíritu de trabajo y el comportamiento de todos los participantes fueron excelentes.

Cuando se redactan estas líneas aún no se ha podido iniciar este año la sistematización y estudio de los datos y materiales recogidos. En gran abundancia se recogieron muestras, tanto de rocas como de fósiles. Las primeras han sido estudiadas y analizadas por el señor De Pedro, y en el apéndice II nos resume este petrólogo los primeros resultados e impresiones de sus observaciones. Con la recogida de fósiles de este año se ha más que duplicado la recogida del anterior, muchos de ellos procedentes de localidades nuevas y algunos de buena calidad. La red de observaciones de este año ha resultado densísima, de modo que, acumulada a la del año anterior, cubre la zona estudiada con una tupidísima densidad de observación. Cuando todo se haya estudiado y resumido, cosa que me propongo hacer con mis alumnos en los próximos meses, dará lugar, sin duda, a un conocimiento muy avanzado de las zonas reconocidas.

En resumen muy esquemático podemos adelantar algunos resultados de nuestro estudio.

La zona en que enclava la hoja de Sallent constituye

el corazón mismo del Pirineo Aragonés, en la frontera con Francia, y en ella se encuentran las fuentes del río Gállego.

Su base geológica visible la componen formaciones paleozoicas dispuestas en bandas, de entre las cuales las más septentrionales proceden de Francia y vuelven, muchas de ellas, a penetrar allí; se trata, en conjunto, de las mismas formaciones descritas en las hojas francesas de Bayona y Luz. Resulta sorprendente, por consiguiente, el descubrimiento, hecho precisamente en la primera jornada del primer campamento, del Siluriano, no citado nunca hasta ahora en el área de la hoja de Sallent. En el barranco de San Lorenzo, al pie del Yanel, entre Hoz de Jaca y Pueyo de Jaca, encontramos, en la primera jornada de entrenamiento colectivo, en la torrentera de grandes bloques angulosos y rodados, gran cantidad de *Orthoceras* y *Cardiola*. No vacilé en clasificar a esta última como la *C. interrupta*, y tuve la seguridad de encontrarme frente a una facies del Gotlandés. No se han localizado, por ahora, a pesar de nuestros intentos, las capas *in situ* de caliza compacta, de color negro azulado intenso, veteada de calcita y de fractura angulosa-irregular, de donde proceden los bloques, pero sin duda se localizarán el año venidero, en que constituirán uno de los objetivos especiales. La existencia de este Siluriano fué puesta en duda por geólogos del otro lado del Pirineo, dado que estas formaciones se reparten, como dijimos antes, entre los dos países, y que el Gotlandés, apenas representado allí, afecta la facies de pizarras negras con graptolites, no encontradas aquí por ahora. Puesto que la distancia es pequeña, que las facies son compartidas y que no se ofrecían diferencias mayores entre las restantes formaciones, pensaron, antes de conocer los ejemplares, que la clasificación era errónea.

Pero esta clasificación de campo ha sido confirmada por el estudio practicado por don José de la Revilla, en el Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico y Minero (ver apéndice IV) y reconocida después por los mismos geólogos que la pusieron en duda, a la vista del material.

Así, pues, queda confirmada la presencia del Gotlandés en facies caliza, con fauna de *Cardiola* y *Orthoceras*, que constituye quizás la formación más baja visible del conjunto, pues aunque existen atribuciones de fósiles al Cambriano, entre los recogidos en la campaña de 1955, son dudosas y habrían de ser comprobadas y confirmadas.

Sobre este Siluriano, aún no localizado en su yacimiento original, pero quizás constituido por los bancos calizos más bajos, hasta ahora atribuidos al Devoniano, se desarrolla esta formación constituida sobre todo por dos o tres gruesas calizas, de espesores entre 40 y 60 metros, quizás llegan localmente a los 80 metros, pues sus tránsitos a las margas y margocalizas pizarreñas que comprenden entre medio, son irregulares y caprichosos. En la parte más alta, al parecer, de este conjunto, y en la margen septentrional del barranco de Lana Mayor, al Oeste de Tramacastilla de Tena, encontramos una abundante y variada fauna con cantidad de *Pleurodictyon*, algunos en excelente estado de conservación. Y más arriba tenemos el Devoniano superior en facies griota algo irregular, pues unas veces es sumamente típica, con calizas tableadas de colores verdes, rosados, rojos y blancos, cuajadas de artejos de crinoide, y otras lo es menos, y se caracteriza entonces por sus tonalidades amarillentas y por la índole glandular y los rizos semi ptygmáticos de sus lechos de calizas tableadas. Entre ellas aparecen margas y margocalizas, que contienen artejos de crinoide, trilobites y otras clases de fósiles. Quizás la localidad, entre las que

conozco, donde están mejor puestas de manifiesto las más típicas características del grioto, es el vértice Cucuruza, que se alza al N. del poblado de Panticosa, así como en la base paleozoica entre el Pico de Escarra y Collado de Izas, de Sierra Telera, en la divisoria con el valle de Canfranc. Allí presenta irregulares pero intensos efectos de silificación en masa.

Además, en esta zona está muy bien puesto de manifiesto, y con tectónica sencilla, el contacto con el Carbonífero, cuya base está compuesta por una serie de bancos de areniscas, pizarras y margas pizarreñas. Las areniscas contienen restos de *Calumites*; las pizarras, *Productus* y otros braquiópodos.

Sin embargo, el desarrollo del Carbonífero se hace predominantemente en pizarras negras satinadas y en margas pizarreñas oscuras, en las que, en algunas zonas, hemos encontrado profusión de magníficas *Fenestella*, y en cuya parte superior aparecen una serie de bancos de calizas de características litológicas muy parecidas a las del Devoniano. Estos bancos calizos ocupan, sobre todo, la zona fronteriza con Francia, de donde proceden, desde más allá de Portalé d'Aneu, paso de la carretera internacional, hasta la zona de Arriel.

La tectónica paleozoica es muy violenta. En la zona axil está muy borrada por la granitización, pero al Sur de la zona de granitos se ve cómo forman una gran serie de pliegues de gran vergencia meridional (foto 23), que se desploman en cascada desde la cota 3.000 hasta la cota 1.000. Son grandes pliegues alargados, de gran continuidad en el sentido del rumbo, pero cuyos ejes, sinuosos y flexados en la dirección del rumbo, dan lugar a inmersiones periclinales bajo las que se sumergen las margas que cubren las cali-

zas. Por otra parte, son con frecuencia pliegues-falla con resbalamiento de flancos hacia el Sur, y hay también cizallamientos transversales. Los rumbos paleozoicos son sinuosos, pero dominan *grosso modo* los que se dirigen E.-O., de manera que coinciden muchas veces, quizá causalmente, con el arrumbamiento pirenaico general.

Y decimos casualmente, porque en todo caso es absoluta la discordancia entre el Paleozoico y las formaciones restantes (fig. 32).

El plegamiento paleozoico es herciniano, y aunque sus deformaciones han rejuvenecido con el plegamiento alpino, probablemente lo han hecho como pliegue de fondo, en masa, originando una enorme bóveda, amplia pero sencilla, de los sedimentos cretáceos y eocenos, antes existentes sobre ella y ahora en gran parte erosionados, aunque aún nos queda, como testigo del primitivo recubrimiento, la diminuta mancha cretácea del Balaitus. Los estudios de tectónica estructural de detalle nos muestran, sin embargo, en las rocas paleozoicas, una serie de redes de apizarramientos y diaclasas entrecruzados, debido a la superposición de los esfuerzos tectónicos alpinos a los hercinianos. En la zona del Collado de Izas y Pico de Escarra y Peña Retona (Sierra Telera), se aprecia muy netamente la discordancia entre el Paleozoico y el Cretáceo, porque aquél se vuelve allí en codo y se arrumba N.-S., mientras que el Cretáceo se alinea de E.-O., con total discordancia y perpendicularmente.

En una zona relativamente extensa, situada entre el Aguas Limpias, el Balneario de Panticosa y Brazato, se desarrollan interesantísimos fenómenos de granitización, que constituyen sólo parte de una zona más extensa, que se reparte al Norte y Este por Francia y España.

Se trata de granitos monzoníticos de anfíbol de tonos

claros, de grano más bien fino, y, en general, de aspecto y composición muy homogéneos, aunque en estas materias es mejor dejar la palabra a los petrógrafos (véase apéndice II). Estos granitos son sintectónicos o quizás inmediatamente postectónicos, puesto que es evidente que han digerido y asimilado las rocas paleozoicas *in situ* y sin deformación ni desplazamiento. Parecen resultado de la asimilación que pudiera efectuar un «dicho» o un vaho granitizante, o una difusión de materia, sin trastorno ni desplazamiento de la estructura paleozoica plegada.

Hay zonas eminentemente graníticas, otras aureolares, en que se conservan en el granito relictos o enclaves de las estructuras paleozoicas que presentan su arrumbamiento y disposición originales, pero que aparecen más o menos intensamente granitizadas y digeridas; hay otras, aún más externas en la aureola, en que domina absolutamente el paleozoico, pero que presenta apósis graníticas, a veces diminutas. Hay zonas, finalmente (Picos del Infierno), donde las partes altas de las estructuras tectónicas no han sido alcanzadas por los efectos de la granitización que afecta intensamente a las partes bajas y aquéllas parecen flotar sobre una masa de granito, conservando siempre los rumbos originales.

La forma de la masa granítica es bastante circular, pero sus contornos son muy irregulares. En general, los bordes están constituidos por una interpenetración e indentación de granito y sedimentario, este último con variados grados de metamorfismo, de modo que la separación de entrambos tipos de formaciones no puede, en general, marcarse por un trazo continuo sino en indentaciones mutuas o difusamente. El metamorfismo es, sobre todo, cálcico por la asimilación, aunque difícil, de los bancos calizos devo-

nianos y carboníferos, con formación de skarn, cornubianitas y granatitas; ni una sola vez se menciona la palabra neis en las libretas, pero de nuevo es mejor dejar estas materias a los petrólogos; yo sólo me limito a reproducir la impresión general que he recibido, como geólogo no especialista en petrología, aparte de que aún no me he dedicado al estudio de detalle de sus problemas, lo que espero hacer en las campañas futuras.

Sólo he de decir que la variedad y nitidez de los fenómenos de granitización ha entusiasmado a los petrólogos que la han visto, y que la consideran de extraordinario interés.

Tanto el granito como el Paleozoico en general están atravesados, por infinidad de filones y filones-capa de rocas verdes básicas de tipo dolerítico, en general arrumbados con los estratos, pero que otras veces los cortan más o menos oblicuamente.

La anchura de la faja de contacto es muy reducida; pronto el Paleozoico deja de mostrar acción alguna metamórfica y, en general, salvo en las zonas de granitización, su metamorfismo es prácticamente nulo o muy reducido. Las granatitas son abundantísimas junto a y entre los bancos calizos, y presentan bellísimos pliegues ptygmáticos.

Sobre el Paleozoico descansa, en total discordancia, el Permo-Trías, que se limita a la zona del cordal de las Arroyeras y Anayet (2.523 y 2.559 m. de cota) y se extiende hacia el valle de Canfranc. Presenta su facies clásica de conglomerados, areniscas y margas y arcillas rojas continentales, que están afectadas de intenso y movido plegamiento. Es la zona de gran desarrollo y oscuras rocas básicas efusivas del tipo andesítico que se desarrollan en grandes masas y pitones, y entrecruzan en filoncillos y coladas, como filones capa.

No recuerdo que en sitio alguno se haya visto la relación mutua que existe entre el Permo-Trías y el Cretáceo, ni nunca llegan a estar en contacto, por lo menos en las zonas visitadas.

Por lo que se refiere a las zonas cretáceas y eocenas, se alzan frente por frente al macizo paleozoico-granítico axil como un muro (foto 2), por una estrecha hendidura (foto 19), del cual penetra en su descenso hacia el Sur el río Gállego. Este muro, de 800-1.000 metros de altura, presenta muy pocos pasos, y aun éstos, difíciles y peligrosos. El macizo es más fácilmente accesible por la falda Sur (fotos 26, 27 y 39), que de todos modos es sumamente áspera y fragosa.

Está constituido en su base ya por el Cretáceo inferior que reposa directamente sobre unos u otros tramos paleozoicos, pero sobre todo en el Carbonífero. En parte está coronada ya por calizas del Eoceno, pero más frecuentemente aún en el Cretáceo. Este se inicia por calizas senonenses, quizás santonenses, y desde luego, campanenses. El cuerpo, la mayor parte del espesor, está constituido, sin embargo, por flysch maestrichtense con *Orbitoides*.

No se aprecia la existencia de la facies garumnense, representada por calizas del Danés (foto 19), blancas y cristalinas, y del Ypresense, con *Alveolina*.

El Cretáceo aparece plegado en pliegues de violencia intermedia, pero que por su intersección con la quebrada superficie del terreno, da complicados contornos a las líneas de contacto de los diferentes tramos y formaciones; esto dificulta su estudio, que ha de realizarse en zonas de difícil acceso (foto 39), escasa agua y peligrosa topografía.

La fotografía aérea ayuda, en cambio, en gran medida, a la interpretación de esta zona.

En ambos veranos hemos encontrado mucha nieve en la

primera temporada de campamento por encima de la línea de los 2.000 metros, que ha ido en deshielo bastante rápido hacia la terminación del campamento, sobre todo en las solanas.

El frente cretáceo, fijado por la erosión ahora en los límites actuales, debió ir en retroceso continuo después de los plegamientos alpinos. Cubrió, sin duda, la zona axil, como demuestran el reducidísimo isleo cretáceo aislado en la cima del Balaitus y la inmensa bóveda cretácea que más al Oeste cierra sobre el Paleozoico axil, teniendo sus estribos en España y Francia.

Un alzamiento en masa de la zona axil originó, como un pliegue de fondo, este abovedamiento colosal.

El Eoceno se inicia con las calizas de *Alveolina* y *Lithothamnium* y pasa en seguida a espesores, no mayores de unos 100 metros, de margas azules (foto 17) y a una potente serie de típico flysch que se extiende por el Sur más allá de los límites de la zona estudiada, hacia las depresiones de Jaca y Sabinánigo.

Hemos recogido *Nummulites* abundantes con el mismo contacto con las calizas de *Alveolina*, pero aún no han sido clasificados.

La tectónica del Eoceno es muy curiosa; consiste en un descenso en cascada, de pliegues de vergencia media, a Sur: como hubieran podido ser producidos por un despegue y resbalamiento sobre el lomo de la pendiente cretácea hasta detenerse por ligero apilamiento en acordeón.

Finalmente, diremos que el fenómeno glacial ha impreso sus huellas por doquier, desde las superficies aborregadas de los granitos, hasta los bloques y acumulaciones morrénicas. Creo que son morrénicas las grandes barreras de acarreo separadas actualmente por el cauce del río Gá

llego, entre Betés y Biescas. En una de ellas, por debajo de Betés, se ha desarrollado un bello ejemplo de piedras **caballeras**.

Este es un breve resumen de lo que hasta ahora se ha visto, pero se ha trazado de memoria, puesto que aún no se han estudiado los datos recogidos en el pasado verano.

Preveo todavía, por lo menos, otras dos campañas en la zona de Sallent: una para poder tener oportunidad de insistir por mí mismo en las zonas graníticas y en las paleozoicas menos recorridas; otra para aclarar las últimas dudas y completar el estudio del valle de Canfranc.

Para estas campañas pido con insistencia la colaboración de petrólogos, para la zona granítica, y de morfólogos, para los fenómenos glaciáricos y de posible tectónica moderna.

Diciembre 1956

APÉNDICE I

RELACIÓN DE PARTICIPANTES

ORGANIZADOR Y DIRECTOR.—*José María Ríos*, Profesor de Geología en la Escuela de Minas.

SECRETARIO.—*Juan José García Rodríguez*, Alumno de segundo curso de la Escuela de Minas.

DE HONOR.—*Marcel Casteras*, Profesor de Geología en la Universidad de Toulouse.

Francisco de Pedro Herrera, Jefe de Laboratorio de Petroquímica.

EXTRANJEROS.—*Maurice Mirouse*, Agregado a la Cátedra de Geología de la Universidad de Toulouse.

DE OTROS CENTROS.—*José Bacca Pérez*, Alumno de la Universidad de Barcelona.

Pablo Yagüe, Ayudante de Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico y Minero de España.

DE LA ESCUELA DE MINAS.—*Angel Alejandro Velasco*,

Ezequiel Canto Díez,

Juan Antonio Córdoba Gabariain,

Domingo Fernández Aglio,

Enrique García González,

Enrique Lefler Lacambra,

José Luis Martínez Abad,

Luis Martínez Falero,

Juan Miguel Martínez García,

José María Mayo Trabanco,

Rufino Menéndez Fernández,

José Meseguer López,

Valentín Morales Vicente,

Juan Núñez López,

Agustín Palacín Gómez,

Alberto Pueyo Reyes,

Francisco Javier Ricart Cánovas,

Miguel de Rodrigo Bores,

Rafael Rubio Pascual del Pobil,

Vicente Torreño Cañas,

Alberto Traveso Tarazonas.

Todos ellos alumnos, entonces, de 4.º curso.

APÉNDICE II

ALGUNAS NOTAS SOBRE LOS GRANITOS DEL PIRINEO ARAGONÉS

por *E. De Pedro Herrera*

Jefe del Laboratorio de Petroquímica del Instituto
«Lucas Mallada»

El cuadrante NE. de la hoja de Sallent de Gállego es de franco dominio granítico, encontrándose dos manchas principales que se prolongan más allá de la frontera: en la zona española presentan unas características de extraordinario interés petrogenético, dada la abundancia de restos de los materiales preexistentes sobre los que actuó el proceso de granitización causante de la aparición de las actuales rocas.

Ambas manchas quedan separadas por las agrestes cumbres paleozoicas que, superando los 3.000 m. de altitud, marcan el límite entre los términos municipales de Sallent y Panticosa, justificando así el ser denominadas por tales nombres, aunque los respectivos poblados se hayan alejado de la inhóspita topografía granítica, afincando en los terrenos modernos inmediatos al río Gállego.

El granito es de grano medio, con proporción bastante normal entre cuarzo, ortosa y elementos oscuros, siendo éstos exclusivamente biotita o una cantidad bastante elevada de anfíbol. El aspecto en el campo es el correspondiente a un granito cercano a contacto, es decir, en el que se han podido conservar reliquias demostrativas de su proceso de formación.

En efecto, éstas se han encontrado abundantes en los granitos de Sallent, habiéndose reconocido enclaves de pizarras muy metasomatizadas con longitudes superiores a 5 Km. y una potencia de 20 m., sin que ésta se pueda fijar por los bordes difusos de granitización que presentan, en tránsito insensible a granito orientado, muy frecuente en esta zona. En la misma dirección E.-O. presentan los enclaves de antiguas calizas, en paquetes de hasta 150 m. de potencia, completamente cargadas de sílice y con profusión de granates y minerales típicos de skarn. A veces estos reductos han sido prácticamente dominados por la granitización global y aparecen los típicos gabarros, también con sus micas orientadas según el conjunto, o fuertes concentraciones de anfíbol alrededor de calizas cristalinas en las que han crecido feldespatos a lo largo de la estratificación.

De la primera impresión sobre una distribución irregular entre los

granitos anfibólicos y normales se ha pasado a pensar en una reconstrucción de la disposición de los tramos más calcáreos en los sedimentos originales.

La tectónica ha actuado enérgicamente en esta región, pero en general se observa un paralelismo entre las anomalías de los actuales granitos y el paleozoico circundante. Éste ha respondido a las presiones plegándose profusamente, mientras que los granitos han actuado rigidamente fracturándose a lo largo de líneas precisas y sin asomo de reacción con la roca que materializa las roturas.

Esto se observa perfectamente en las fotografías obtenidas de gabarros seccionados, con desplazamiento de las partes coincidentes, por fracturas verticales y prácticamente N-S., mientras que en las E-O, y buzando 30° al norte se han producido mayores separaciones como atestiguan las prolongaciones de filoncillos de cuarzo a los lados de la roca intrusiva.

El material que rellena las fracturas es extraordinariamente diverso según los lugares, pudiéndose hablar en ocasiones de verdaderos pórfidos cuarcíferos y sieníticos, como en el Pico de Bachimaña, o los lamprófidos con grandes cristales de angita y feldespatos que junto con los enclaves de granito les dan aspecto de brecha. Sin embargo, no siempre es posible la discriminación en el campo y se engrosa la denominación de porfiritas diabásicas o diabasitas que corresponde a varios filones que llegan a atravesar el devoniano y el carbonífero en la parte de Pondiellos. La clasificación definitiva ha de hacerse en el laboratorio y permitirá aclarar algunos aspectos del tan discutido origen de estas rocas, lo cual aumenta aún más el interés petrográfico de esta región, que tan variados tipos presenta.

Por otra parte, el material recogido en este II Campamento de Geología hace que sea la segunda región granítica española en cuanto a conocimiento de su geoquímica, pues se ha pasado del único análisis químico debido a H. S. Washington (1926) a 22 en la actualidad, que sin esperar a una nueva serie de otros tantos en periodo experimental, nos permite fijar algunas características de proceso petrogenético tan interesante.

Las muestras de los granitos de Sallent, tomadas desde el contacto con las calizas del Paso del Oso, a lo largo del Aguas Limpias, Respumoso, el Cristal y un ligero arco hacia el pico de Campo Plano, presentan una rítmica pérdida de elementos ferromagnesianos, aluminio y, principalmente, calcio; mientras que silicio y elementos alcalinos tienden a un máximo.

Los ejemplares de granitos de Panticosa han sido recogidos prácticamente según una dirección N-S., desde el Ibón Azul Inferior, pasando por el Balneario, hasta el contacto de las calizas en el kilómetro 21,1 de la carretera. Los alejados del contacto presentan un mínimo análogo al de antes, en este caso del camino de Bachimaña, para crecer según se aproximan al del S.; del mismo modo, aparece un máximo central para los elementos típicos de granitización.

También se puede agregar, y está de acuerdo con las observaciones de campo, que los granitos de Panticosa son más homogéneos que los de

Sallent, los cuales han debido sufrir en menor grado la granitización verificada de una manera selectiva sobre los materiales más afectables, de aquí que las calizas sean tan profusas dada su resistencia a este tipo de transformaciones.

Análogas conclusiones se obtienen al comparar los resultados obtenidos a partir de un grupo de enclaves, se aprecia la evolución hacia los granitos típicos, pudiéndose distinguir perfectamente si proceden de calizas, pizarras o cuarcitas, al ser distintos los elementos puestos en juego.

Sentadas las bases con lo obtenido este año se impone una campaña intensa de toma de muestras, en especial cortando normalmente los itinerarios hechos hasta ahora, que lo han sido por los accesos menos costosos a lo largo de las posibles fracturas. Estas se han puesto débilmente de manifiesto por los ejemplares tomados en sus inmediaciones, pero que cuando ha sido apropiada la toma de rocas, como sucede en las cascadas de Bachimaña, aparece un salto en la composición de los granitos, comprobándose la sospechosa disposición de estos lagos, como debida a accidente tectónico.

Desde el punto de vista geoquímico, es una zona de extraordinario interés, en la que no se ha podido hacer más que trazar un esbozo, durante el corto tiempo transcurrido, pero que ha de proporcionarnos uno de los casos más típicos de estos complicados y desconocidos procesos, pudiéndose estudiar sus fenómenos peculiares en las dimensiones de espacio y tiempo en que se desarrolló este Campamento.

F. DE PEDRO

Diciembre 1956.

APENDICE III

FÓSILES SILURIANOS DE LA HOJA DE SALIENT

por JOSÉ DE LA REVILLA

Del Laboratorio de Paleontología del Instituto Geológico de España

En el campamento establecido en el mes de julio del año 1956 para las prácticas de geología de los alumnos de la Escuela Especial de Ingenieros de Minas se recogió un abundante material en el que figuran en el punto 35 los siguientes géneros y especies:

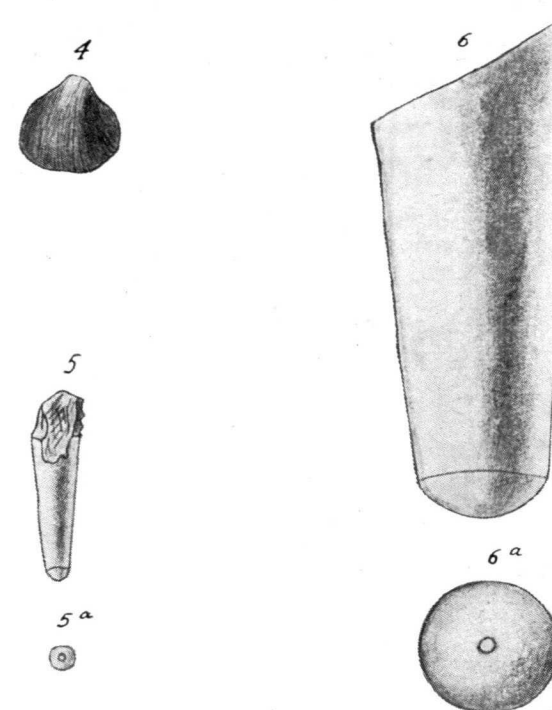
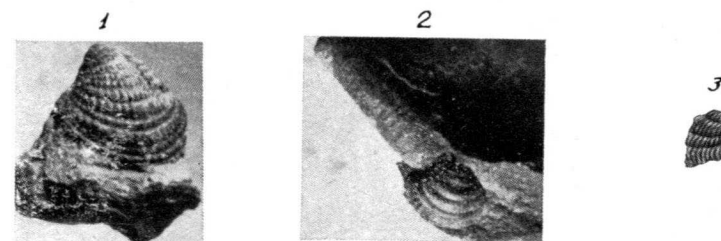
- Cardiola interrupta*, Sow. (tres ejemplares).
- Cardiola gibbosa*, Barr. (un ejemplar).
- Dualina secunda*, Barr. (dos ejemplares).
- Lunulicardium* sp. (un ejemplar).
- Orthoceras cavum*, Barr. (un ejemplar).
- Orthoceras timidum*, Barr. (ocho ejemplares).
- Orthoceras morsum*, Barr. (cuatro ejemplares).

Y en el punto 7:

- Cardiola interrupta*, Sow. (un ejemplar).

Este conjunto señala un típico Gothladiense principalmente definido por las *Cardiolas* que son características de este tramo del Siluriano.

A continuación figuramos algunos de los citados ejemplares.



- 1.—*Cardiola interrupta*, Sow. Algo aumentado.
- 2.—Otro ejemplar de la misma especie con *Orthoceras timidum*, Barr. Algo aumentado.
- 3.—*Cardiola gibbosa*, Barr. X 1 y 1/2.
- 4.—*Dualina secunda*, Barr. Algo reducido.
- 5.—*Orthoceras timidum*, Barr. Algo reducido.
- 6.—*Orthoceras cavum*, Barr. Algo reducido.



Fig. 1.—Grupo de participantes en el segundo campamento al comenzar las tareas. De pie (izquierda a derecha): de Pedro, Yagüe, Meseguer, Ricart, Torrego, Córdoba, Rodrigo, Twose, Núñez, Canto, Martínez García, Alejandro, Morales, Martínez Falero, Martínez Abad, Baena. En primer plano (izquierda a derecha): García Rodríguez, Fernández Agüero, García González, Mayo, Pueyo, Palacín y Rubio. En Panticosa. Al fondo, el macizo de Peña Telera.

Foto Ríos.



Fig. 2.—El muro cretácico de Peña Tendeñera en su falda septentrional. El contacto con el Paleozoico queda oculto por la pedriza de ladera.

Foto Martínez Falero.

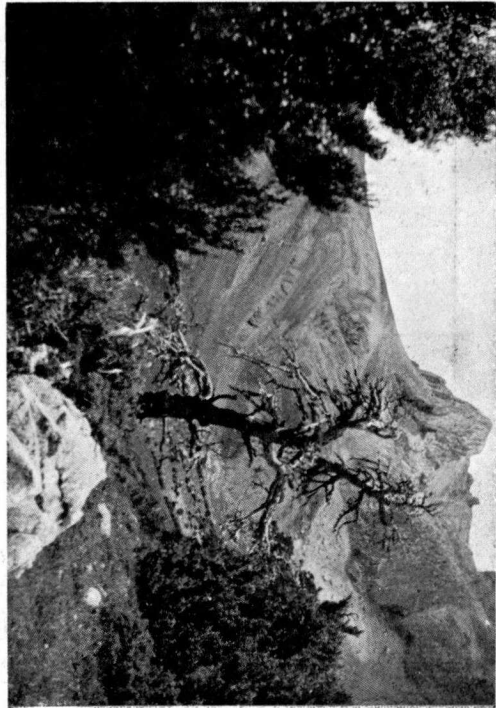


Fig. 4.—El contacto del Eoceno, a la izquierda, y el Cretáceo a la derecha, sobre el río Aurin, al sur de Peña Retona, en la falda meridional del macizo Telera.

Foto Ríos.

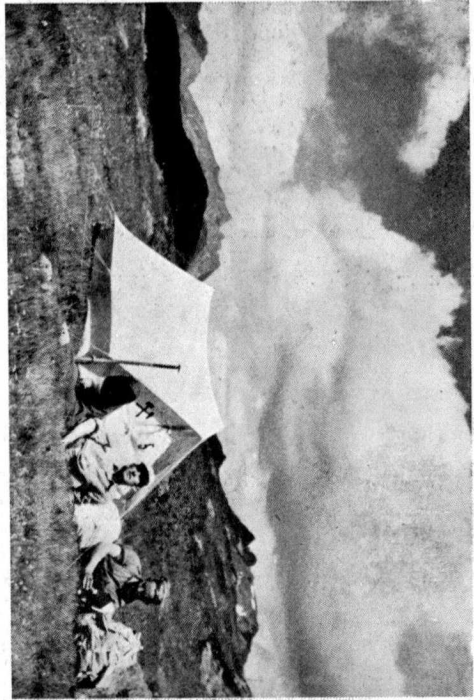


Fig. 3.—Campamento en las praderas de Piniecho, en zona del Carbonífero. Señores Menéndez y Leifer.

Foto Leifer.

LÁMINA II

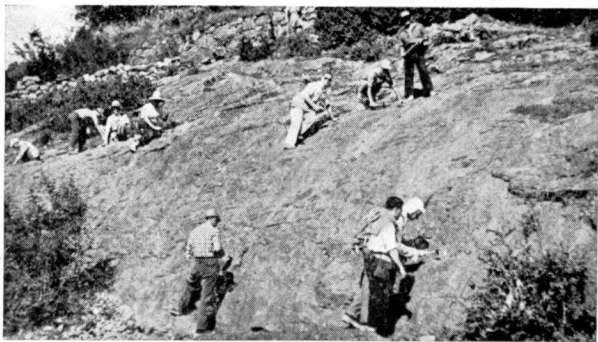


Fig. 5.—Entrenamiento preliminar. Recogida de fósiles en calizas devonianas, en la zona de Saqués.

Foto Martínez Falero.

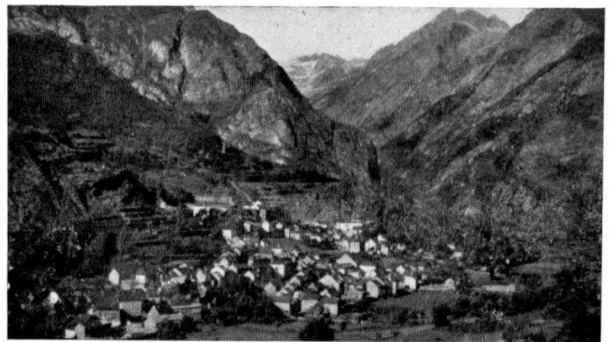


Fig. 6.—Panticosa, en la hoz del Caldarés, mirando al Norte. Cierran a ambos lados el Devoniano y Carbonífero. Al fondo, los granitos.

Foto Ríos.



Fig. 7.—Los crestones de las calizas blancas del Danes cierran sobre el pliegue del flysch Maestrichtense en la falda meridional de la sierra Telera y la culminan.

Foto Ríos



Fig. 8.—Primeros días de entrenamiento preliminar. Al fondo, Pueyo de Jaca y las calizas devonianas.

Foto Ríos.

LÁMINA III





Fig. 10.—Lago Respomuso en la zona de la granitización marginal.

Foto Yagüe.



Fig. 12.—Plicgues en la caliza carbonífera, camino de Ibonciecho.

Foto Yagüe.



Fig. 9.—Valle de Panticosa, de Sur a Norte.

Foto Yagüe.



Fig. 11.—Córdoba y Alejandro, guarecidos de la lluvia en un alto en la marcha.

Foto Yagüe.



Fig. 15.—El valle de Panticosa, de Sur a Norte.

Foto Martínez Falero.

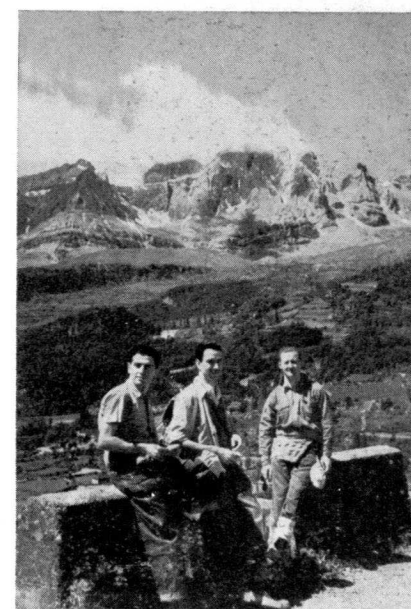


Fig. 16.—Descanso en las jornadas de entrenamiento. Sres. García González, Yagüe y Lefler.

Foto Martínez Falero.



Fig. 13.—Sres. Rios, Castevas y Mirouse. Al fondo, Peña Telera.

Foto García Rodríguez.



Fig. 14.—Un equipo prepara su salida. Sres. Morales, Palacin y Núñez

Foto García Rodríguez.





Fig. 17.—A la izquierda el Eoceno; está en contacto con la caliza blanca del Danés en el fondo mismo del barranco, que ha resbalado sobre la caliza mordiendo en las margas azules eocenas que sustentan el flysch iniciado por maciños duros y calizas. Por debajo del Danés aparece al potentísima serie del flysch maestrichtense. Paso del río Aurin entre Peña Somota y Peña Retona, esta última fuera ya de la foto. El Norte a la derecha.

Foto Ríos.



Fig. 18.—Campamento en la zona de Resposuso. Al fondo, granitos aborregados por el glaciario. Sres. Alejandro y Lefler.

Foto Yagüe.



Fig. 19.—La caliza blanca del Danés en el puente del Fuerte de Santa Elena. Al fondo, en dirección al Sur, el Eoceno.

Foto Martínez Falero.

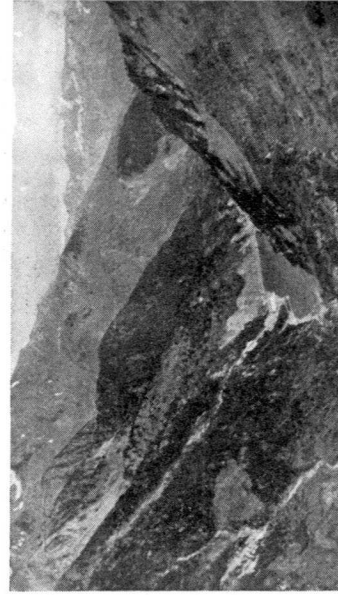


Fig. 21.—El lago Resposuso y zona de Paleozoico, dando vista al Sur.

Foto Yagüe.



Fig. 20.—Torrego, Córdoba y Cantó a la puerta del refugio de Resposuso. Al fondo, el macizo del Balaitus.

Foto Yagüe.

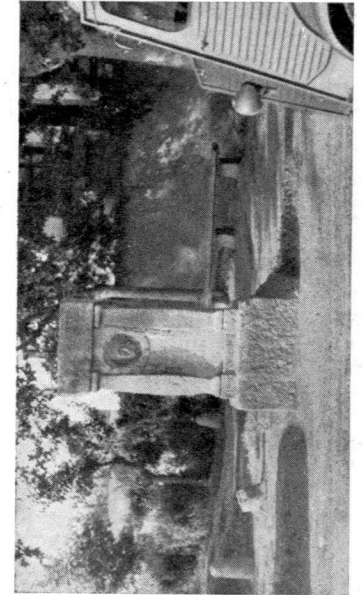


Fig. 24.—Monumento a Mallada en las afueras de Huesca.

Foto García Rodríguez.

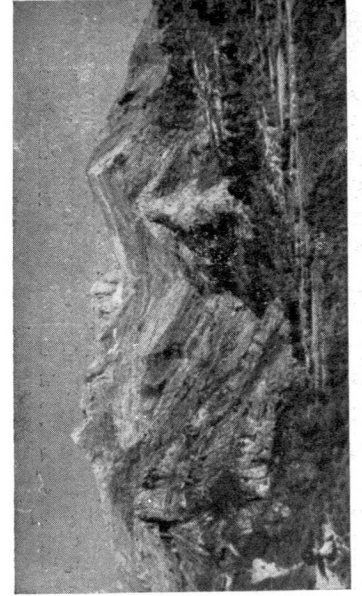


Fig. 23.—El macizo de Amalás o Argualas desde el Sur, enfilando el barranco de Foroniaz, desde La Travenosa, por encima de El Yaso. Plegue en rodilla vergente al Sur en caliza carbonífera.

Foto Martínez Falero.



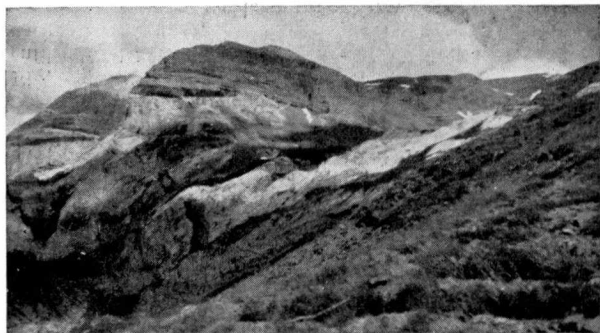


Fig. 26.—El imponente macizo de Sierra Telera, visto desde el Sur. Es, como Tendeñera, un pliegue en rodilla, cuyo flanco septentrional constituye un tendido sinclinal.

Foto Ríos.



Fig. 25.—Pliegue en la caliza de la zona de Brazato

Foto Martínez Falero.



Fig. 27.—Al fondo, el macizo de Tendeñera constituye un pliegue en rodilla hacia el Sur. Sobre la caliza del Danés se apoya el Eoceno. El contacto se ve perfectamente en la collada centro izquierda.

Foto Ríos.

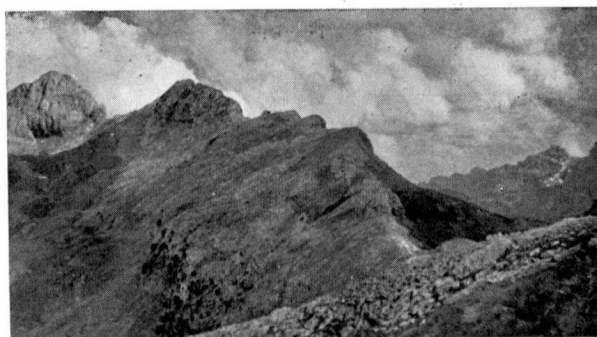


Fig. 28.—El áspero y hosco macizo devoniano de Peña Foratata.

Foto Martínez Falero.

LÁMINA IX



Fig. 29.—Depósitos morrénicos en el puente de Santa Helena. Al fondo, el flysch Eoceno.

Foto Martínez Falero.



Fig. 30.—Preparativos matinales. Los equipos se reúnen y repasan su material.

Foto García Rodríguez.



Fig. 31.—Campamento a orillas del Ibón. Sres. Lefler y Fernández Aglio.

Foto Lefler.



Fig. 32.—Collado Tendeñera en su cara oeste. El contacto del Cretáceo con el Carbonífero está muy bien puesto de manifiesto.

Foto Martínez Falero.





Fig. 33.—García Rodríguez, Baena y Dr. de Pedro frente al viejo Fuerte de Santa Helena.

Foto García Rodríguez

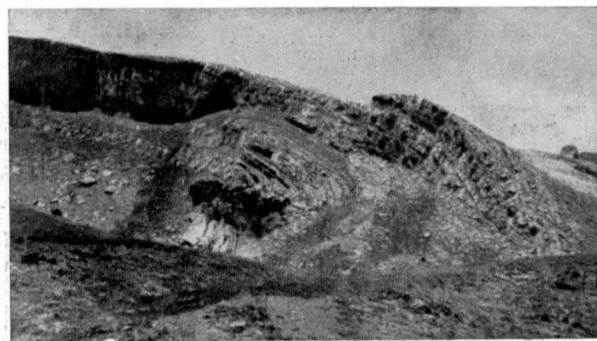


Fig. 34.—Pliegue en las calizas de Productus de la zona del Portalé.

Foto Martínez Falero.



Fig. 35.—El ibón más meridional entre los grandes es el de Sabocos, al pie septentrional de Sierra Tendeñera

Foto Martínez Falero.



Fig. 36.—Comiendo sobre los depósitos glaciáricos del Fuerte de Santa Helena.

Foto García Rodríguez.



Fig. 37.—Zona de Brazato.

Foto Martínez Falero.

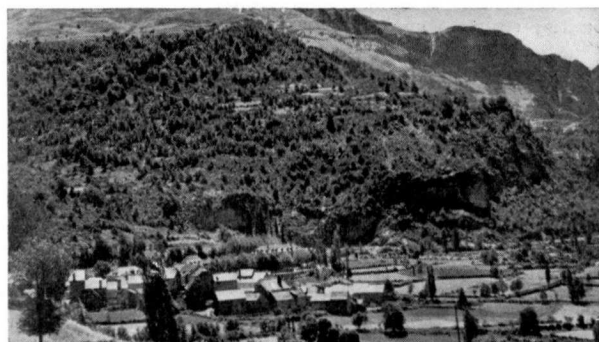


Fig. 38.—Pueyo de Jaca y al fondo la Sierra Tendeñera con Peña Blanca.

Foto Martínez Falero.



Fig. 39.—La quebrada región de la falda meridional de Sierra Telera en calizas del Danés y flysch maestrichtense.

Foto Ríos.



Fig. 40.—Picos en la zona de Brazato por encima del Balneario de Panticosa.

Foto Martínez Falero.



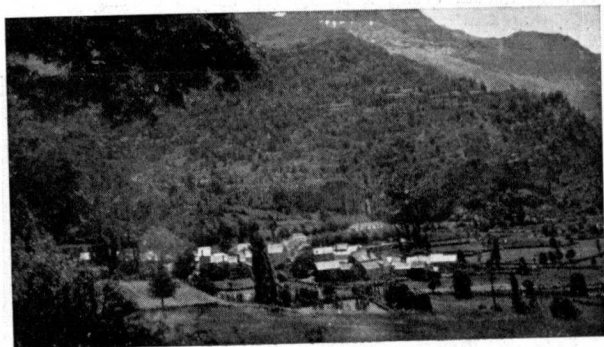


Fig. 41.—Pueyo de Jaca y sus pradería. Al fondo, Peña Blanca.

Foto Ríos.



Fig. 42.—Valle de Panticosa.

Foto Yagüe.



Fig. 43.—Menéndez y Lefler en las cimas de Tendeñera.

Foto Lefler.

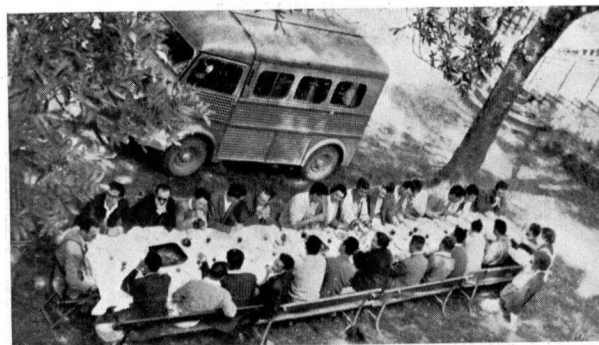


Fig. 44.—Comida de clausura y despedida en los terrenos del Balneario de Panticosa.

Foto García Rodríguez.

SIMPOSIO DE ANKARA - 1955, PARA ESTUDIOS DE GEOLOGIA
APLICADA DEL PROXIMO ORIENTE

En octubre de 1955 recibí una invitación para asistir, en Ankara, a un simposio organizado para el estudio de los problemas de geología aplicada, con referencia especial a los países del Próximo Oriente.

La reunión se convocaba para el 14 de noviembre de 1955, y la organización fué conjunta del Centro de Cooperación Científica para el Oriente Medio de la U. N. E. S. C. O. y del M. T. A. (Instituto de Investigaciones y Exploración Minera de Turquía, con residencia en Ankara).

Aparte de un crecido número de geólogos de los países del Oriente Próximo y de otros de países europeos que trabajan allí, tanto en los servicios gubernamentales de los diversos países como en misiones de U. N. E. S. C. O., o en compañías privadas, sobre todo petroleras, se invitó a otros de los países mediterráneos, y fueron: por Francia, Mr. F. Blondel; por Italia, A. Desio, Profesor de Geología en la Universidad de Milán; por Yugoslavia, Prof. S. Pavlovic, y por España, el autor de estas líneas.

Así, pues, apenas contaba con una semana de plazo para preparar alguna comunicación que pudiese llegar a Ankara en el plazo fijado. Preparé rápidamente dos: una, para la sección a) del Grupo de Estudios II, y otra, para la sección b) del mismo Grupo. Se comprende que en tan breve plazo, y además pensadas y escritas en idioma extranjero, en este caso el inglés, no podían pasar de ser una improvisación; pero mejor esto que no presentarse con las manos vacías.

Todos los resultados debieran haberse publicado hace tiempo, pero como la sede de U. N. E. S. C. O. para el Próximo Oriente reside en El Cairo, resulta difícil en las actuales circunstancias que puedan publicarse en el plazo previsto (ya rebasado, por otra parte, el plazo original), si es que algún día llegan a publicarse. Por esta razón me animo a dar cuenta de esta interesante reunión.

En resumen, las sesiones comenzaron en Ankara el 14 de octubre, con una sesión solemne que tuvo lugar en el severo Auditorium de la Facultad de Letras, presidida por el excelentísimo señor Ministro de Empresas Estatales, quien pronunció el discurso inaugural. Asistieron muchas autoridades y, además, numeroso y distinguido público.

Las restantes reuniones tuvieron lugar en el simpático y moderno marco de la biblioteca del M. T. A., en ambiente de gran actividad e intenso trabajo, restringido a los participantes y público inmediatamente interesado.

Comenzaban por la mañana a las nueve en punto y terminaban a las doce, o más tarde si no se había agotado el tema. Se reanudaban a las dos de la tarde y se terminaban a las cinco y media. Las comidas solían hacerse en el comedor del personal del M. T. A., porque este Instituto dista bastante del centro de Ankara y el tiempo era muy escaso para trasladarse a la ciudad.

Diversas actividades sociales, amablemente ofrecidas por la generosa hospitalidad de diversos organismos del país, ocupaban las horas restantes. Hubo un animado «cocktail party» ofrecido por el excelentísimo señor Ministro de Empresas Estatales en el Hotel Ankara Palas. Cena en el restaurante Karpic, obsequiados por el M. T. A. Sesión de ópera en el Teatro de Estado, en que presenciamos una magnífica representación del «Bal masqué», de Verdi. «Cocktail party» en el Instituto de Ingenieros Civiles y cena solemne de clausura y despedida ofrecida por el Instituto Geológico de Turquía, junto con la Asociación Técnica de Geólogos, en el Hotel Bulevar Palas, el día 17, a las ocho de la noche, tras la sesión plenaria de clausura.

Las sesiones se desarrollaron a un nivel cultural muy alto y con gran intensidad y seriedad de trabajo. Las discusiones entabladas fueron muy interesantes, como lo fueron los temas, por su variedad y categoría. Un total de cincuenta y seis geólogos tomó parte en la reunión. Dominaban, como es natural, los nativos de los diversos países del Oriente Próximo. Casi todos ellos eran de formación cultural occidental, bien íntegra, bien post-universitaria y casi siempre de larga duración en Universidades, Escuelas Técnicas y empresas de Francia, Inglaterra, Suiza, Alemania, Estados Unidos, etc., según las afinidades políticas o culturales de cada país.

Las reuniones fueron dirigidas por diversas personalidades, conjuntamente con M. Batisse, Jefe de los Servicios de U. N. E. S. C. O. para el Oriente Próximo. Se emplearon los idiomas francés e inglés. Obtuvimos abundante documentación geológica de diversos países.

A partir del día 17 se realizaron, a elección, diversas excursiones: una, de objetivos de minería metálica; otra, de yacimientos de carbón; finalmente, otra de petróleos. En esta última tomé parte. Un grupo reducido fuimos transportados en avión especial desde Ankara a Elazig y desde Elazig a Dyarbakhir, cercana ya la frontera iraquesa, es decir, después de haber atravesado en sentido longitudinal gran parte del país en magníficas condiciones de vuelo y visibilidad.

Desde allí, en coches, nos trasladamos a Batman, donde hay una refinería. Nos alojaron en cómodas instalaciones destinadas al personal, y al día siguiente nos trasladamos en jeeps al campo petrolífero de Raman, junto al Tigris.

Regresamos a Dyarbakhir en tren, y después de visitar la ciudad, con su espléndido recinto amurallado del tiempo de las Cruzadas, ciudad que es de extremo interés por su ambiente oriental y su riqueza en tesoros arquitectónicos, regresamos a Ankara en avión, y de allí a Istanbul en tren.

Los viajes de ida y regreso a Istanbul los hice en avión, con espléndido tiempo y visibilidad, desde Madrid. Todos los gastos fueron costeados conjuntamente por la U. N. E. S. C. O. y el M. T. A. de Turquía.

* * *

Los objetivos de este coloquio se definieron así: Reunir un grupo de especialistas de diversas disciplinas de la geología aplicada de esta parte del mundo, a fin de que puedan presentar los resultados de sus investigaciones y cambiar ideas e información acerca de las materias que han estudiado, con vistas a establecer el punto en que se encuentra actualmente la geología aplicada en el Oriente Próximo y deducir las conclusiones necesarias.

Todos los participantes fueron invitados a título individual y personal, en razón de su competencia particular con respecto a diversos aspectos de los problemas discutidos y no como representantes de Gobiernos o instituciones.

Las materias de interés general fueron presentadas en sesiones plenarios, así como las conclusiones de conjunto. Los problemas de especialización, en grupos de estudio.

Participaron, por invitación personal, los siguientes señores:

Chipre: Dr. *F. T. Ingham*, Director del Instituto Geológico, Nicosia.
Egipto: Prof. *N. M. Shukry*, Profesor de Geología, Universidad de El Cairo.—Dr. *Sh. El. Shazly*, Instituto Geológico, El Cairo.—Doctor *M. A. Gheith*, Profesor Adjunto de Geología, Albaria.—Dr. *Moharram Mahgoub*, Dirección General de Minas, El Cairo.—Dr. *A. Shatta*, Instituto de Estudios del Desierto.—Mr. *Harrison*, Instituto de Estudios del Desierto.—*M. Mousa Sadek*, Ministerio de Obras Públicas, El Cairo.
España: *J. M. Ríos*, Profesor de Geología, Escuela de Minas, Madrid.
Francia: Mr. *P. Blondel*, Director del Mapa Geológico del Mundo, París.—Dr. *P. Routhier*, Laboratorio de Geología Aplicada, París.
Irak: Mr. *H. C. B. Leitsch*, Ministerio de Economía Nacional, Bagdad.—Mr. *Khorchid al Naguib*, Iraq, Petroleum Company, Kirkuk.
Irán: Dr. *Abbas Zahedi*, Dirección General de Minas, Teherán.—Mr. *Bagher Mostofi*, Director de la Soc. Nac. des Petroles, Teherán.
Italia: Prof. *A. Desio*, Profesor de Geología, Universidad de Milán.
Jordania: Dr. *D. J. Burdon*, Geólogo de hidr. subt., F. A. O., Amman.
Líbano: Dr. *M. L. Dubertret*, Agregado Embajada de Francia, Beyruth.
Sudán: Mr. *M. Abdalla*, Director Dep. de Geología, Khartoum.
Siria: Prof. *Th. Raven*, Prof. Geología, Universidad de Damasco.
Turquía: Dr. *S. Alpan*, Departamento de Minería, M. T. A., Ankara.—Dr. *D. E. Altinli*, Instituto Geológico, Universidad de Estambul.—

Dr. *H. G. Bachmann*, Mineralogo, M. T. A., Ankara.—Dr. *A. t. Dam*, Geólogo, Ankara.—Dr. *E. N. Egeran*, V. P. Admón. de Petróleos, Ankara.—Dr. *C. Erentöz*, S. D. Dep. de Geología, M. T. A., Ankara.—Dr. *L. Erentöz*, Pal. Jefe, M. T. A., Ankara.—Mr. *A. Perkan*, Ingeniero Geol., Ankara.—Mr. *S. Pekmezci*, Geol. Jefe Sec. Lignitos, M. T. A., Ankara.—Dr. *N. Pinar*, Dip. por Izmir, Ankara.—Doc. Dr. *G. Sagiroglu*, Univ. Técnica, Istanbul.—Dr. *E. J. P. Stretta*, Hidrogeólogo de U. N. E. S. C. O., Inst. Hidr., Istanbul.—*M. C. Tasman*, Coas. Geol. Adm. de Petr., Ankara.—Mrs. *M. Tasman*, Cons. Geol. Subterránea, M. T. A., Ankara.—Dr. *Z. Ternck*, Dir. Secc. Geol. Petr., M. T. A., Ankara.—Dr. *M. Tokay*, Sub. Dir. Dept. Geol., M. T. A., Ankara.—Dr. *N. Tolun*,—Geólogo, Ankara.—Dr. *R. Tolun*, Dir. Lab. Min., M. T. A., Ankara.—Dr. *M. Topkaya*, Geólogo, Ankara.—Dr. *P. de Wijkerslooth*, Geol. Petrólogo, M. T. A., Ankara.

Yugoslavia: Prof. *S. Pavlovic*, Inst. Min. et Petr. Universidad de Belgrado.—Prof. *J. Ogulovic*, Dir. Inst. Inv. Geol. de Croacia, Zagreb.

* * *

El programa de las reuniones se desarrolló con arreglo al siguiente esquema:

I.—COMUNICACIONES CIENTÍFICAS Y DISCUSIONES

- 1.ª Sección: Métodos de la geología aplicada (geológicos, geofísicos, geoquímicos, etc.).
- 2.ª Sección: Geología económica:
 - a) Minerales metálicos.
 - b) Minerales no metálicos.
 - c) Carbón.
 - d) Petróleo.
- 3.ª Sección: Hidrología.
- 4.ª Sección: Geología aplicada a las obras de arte.

II.—GRUPOS DE ESTUDIO

- a) Situación de documentos base en cada país.
- b) Problemas de formación de geólogos noveles.
- c) Legislaciones mineras y sus aspectos técnicos.

III.—DISCUSIÓN GENERAL

Informes de los diferentes grupos y exposición de problemas de interés general.

IV.—EXCURSIONES GEOLÓGICAS

- a) Minas de carbón del N. de Turquía.
- b) Minas de cobre y cromita.
- c) Campo petrolífero de Raman.

Fueron leídas todas las comunicaciones y ampliamente comentadas, a veces con discusiones de gran interés, en jornadas de intenso trabajo que exigían una atención constante.

Mr. F. Blondel presidió las reuniones y presentó las conclusiones del I.º Grupo de Estudios, a). Documentos de base, que, en resumen, dicen lo siguiente:

MAPAS GEOLÓGICOS NACIONALES

- 1) Se consideran como documento fundamental para el desarrollo económico moderno de un país: por consiguiente, y a pesar de su carácter a veces aparentemente teórico y académico, su confección debe ser objeto de impulso activo.
- 2) Su establecimiento es obra de gran alcance que no puede lograrse sino por aproximaciones sucesivas. La escala 500.000 se recomienda, como primer objetivo, para un cierto número de países del Próximo Oriente. Casos particulares pueden exigir la ejecución de mapas detallados; pero desde el punto de vista general o nacional, es preferible orientar la labor conjunta al conocimiento equilibrado y general de la geología del país.
- 3) El mapa geológico es de interés público y debe ser hecho accesible a todos mediante su publicación, conjunta con la de los textos y documentos explicativos.
- 4) Algunas exploraciones hechas con objetivos industriales tienen carácter reservado. Sin embargo, de los contactos establecidos aquí entre geólogos de empresa y estatales, se deduce que hay una parte importante y no confidencial que debe ser utilizada para el conocimiento general.
- 5) El establecimiento previo de una buena base topográfica es primordial y debe ser ejecutado a toda costa.
- 6) Se recomienda el empleo a fondo de la fotografía aérea para el establecimiento de mapas geológicos.
- 7) El interés nacional del mapa geológico hace indispensable que cada país cuente con un servicio oficial («Servicio Geológico») que administre y coordine las actividades y que establezca una cartografía oficial. Es preferible disponer de un Servicio Geológico restringido, pero estable, que trabaje con continuidad aunque sea lentamente, que realizar actividades esporádicas sin provecho.

A continuación vienen unas conclusiones referentes al Mapa Geológico Internacional, en que se razona y se apoya la conveniencia del intercambio internacional de conocimientos y el encuentro entre geólogos de diversos países, organizado sobre bases de regularidad. Se recomienda el establecimiento de un mapa estructural de cada país.

INVESTIGACIONES MINERAS

1) Se previene acerca de la dificultad incrementante en el descubrimiento de nuevas riquezas mineras, ya que las fáciles de hallar se presume que han sido descubiertas en su casi totalidad. De aquí la necesidad de prestar toda clase de apoyos oficiales y particulares a estas actividades.

2) El hallazgo de indicios es una de las operaciones más difíciles y costosas de la investigación minera y es al mismo tiempo su punto de partida. Se recomienda el establecimiento de catálogos o inventarios nacionales de indicios minerales.

3) Estos conocimientos deben cuajar en un mapa metalogénico, resumen de los mapas geológico, estructural y de prospección. Será la base de la prospección futura, porque la empírica, la del pasado, está llamada a desaparecer por fracaso.

HIDROGEOLOGÍA

1) Menos espectacular que la minera, la investigación hidrogeológica, es, por lo menos, tan necesaria. Las necesidades de cada país son incrementantes y aun los mejor dotados se han de enfrentar más pronto o más tarde con el problema, ya que el agua subterránea no es materia tan abundante como se cree. Su estudio sistemático, sobre bases científicas, se impone.

2) El primer paso es el establecimiento de un mapa hidrogeológico que se deberá lograr por etapas sucesivas. No existe, en este terreno tampoco, la obra perfecta inmediata.

3) Se estimula a la cooperación internacional.

A continuación, y en forma de apéndices, se dan informaciones complementarias, incluidas las comunicaciones aportadas por el autor.

APENDICE 1

II GRUPO DE ESTUDIOS. SECCIÓN A

«Orígenes y desarrollo de la Cartografía geológica oficial de España, con discusión acerca de algunas limitaciones inherentes a la naturaleza de la cartografía geológica.»

Por J. M. Ríos
Del Instituto Geológico y Minero de España

R E S U M E N

El autor ha estado, durante los últimos quince años, relacionado con el Instituto Geológico y Minero de España y ha tomado parte activa en sus trabajos, colaborando en el trabajo de cartografía de diferentes regiones a varias escalas. También ha colaborado en la confección y publicación de mapas generales. Esto significa que ha adquirido cierta experiencia en ambos campos, y piensa que esta experiencia puede ser útil a otros países. Puesto que España posee una amplia y antigua tradición en cartografía geológica.

El autor expone, sumariamente, los orígenes y desarrollo de la cartografía geológica oficial en España. A continuación estudia ordenadamente los tipos de mapas oficiales existentes con una nota crítica para cada tipo. De paso el autor expresa algunas ideas acerca de las limitaciones inherentes, por naturaleza, a la calidad de la cartografía, con el fin de contribuir a disminuir su influencia.

Orígenes de la cartografía geológica oficial en España

En España, como en la mayor parte de los países europeos, el origen del conocimiento geológico y su desarrollo están estrechamente relacionados con la industria minera y ésta es, quizá, la razón más tangible para explicar por qué la cartografía oficial de España ha sido desde sus principios confiada a entidades dependientes de los Servicios Mineros de nuestro país.

Paralelamente a esta actividad oficial se desarrollaba, desde luego, gran cantidad de trabajo por entidades y geólogos oficiales particulares.

Estas actividades crecían o decrecían periódicamente, según las condiciones políticas o económicas del país, y persisten hasta nuestros días. Este estudio se limitará, más bien, a las actividades oficiales dedicadas a la elaboración de los mapas geológicos de España.

Así pueden ser considerados los primeros mapas regionales, aparecidos en los «Anales de Minas», en 1828, y más tarde en el «Boletín Oficial de Minas», en 1842.

En 1849 se concede un estatuto más sólido a esta labor, hasta ahora falta de coordinación, y en 1850 se instituye una «Comisión encargada de trazar un Mapa Geológico del Reino y sus Provincias», que obtuvo el primer mapa geológico de toda España, bajo la dirección de Ezquerria del Bayo.

En 1862 se publica el primer mapa provincial con texto explicativo.

Otros mapas del conjunto peninsular aparecen en 1864 y 1879. Simultáneamente progresa el trabajo en diversas provincias y gradualmente se publican sus mapas con textos explicativos, hasta que se llega a completar los de la mayor parte de las provincias.

En 1899 se publica un nuevo tipo de mapa, la primera hoja de las sesenta y cuatro que en conjunto constituyen una representación geológica de España a escala de 1:400.000.

En 1910 los servicios geológicos fueron reorganizados y la vieja Comisión es transformada en Instituto Geológico de España.

Fueron establecidos los siguientes tipos oficiales de cartografía:

Descripciones de provincias, con mapas a escala 1:200.000.

Hojas del mapa a escala de 1:400.000.

Mapa geológico de España a escala 1:1.500.000 (1919).

Mallada, uno de nuestro geólogos más distinguidos del pasado, escribió el texto explicativo al mapa escala 1:400.000, que fué publicado a intervalos, en 7 volúmenes, y apareció entre 1895 y 1911. Es la única explicación del conjunto peninsular de que disponemos y aunque muy anticuada con respecto al conocimiento actual de la geología española continúa siendo fuente constante de información de datos estratigráficos, ya que la explicación del mapa actual escala 1:1.000.000 no ha llegado más que a comenzarse apenas.

Se han publicado varias síntesis sobre la geología de nuestro país, pero incluso éstas también quedan anticuadas y en todo caso sólo exponen esquemas en líneas muy generales, mientras que el trabajo de Mallada es un análisis muy detallado, e ilustrado por una buena sinopsis de las especies fósiles encontradas hasta entonces en España.

Este tipo de exposición general de las características geológicas de un país es siempre extremadamente útil, y cada país debería esforzarse en producirla, pero el número de publicaciones y trabajos aumenta con tal rapidez en casi todas partes que se ha convertido en tarea gigantesca

el trabajo de revisión, de síntesis y recopilación de datos, conceptos y conocimientos nuevos. No es fácil mantener tal tarea al día, no digamos componer una nueva, que de todos modos, para países poco conocidos o de conocimientos poco equilibrados, pronto quedaría anticuada.

Situación presente de la cartografía geológica de España

Si discuto con cierto detalle el estado actual de nuestros mapas geológicos es debido al hecho de que, en mi opinión, nuestros servicios geológicos han establecido un conjunto de tipos de mapas oficiales bien escogidos, ponderado, y por consiguiente muy útil. Se adapta especialmente bien a países de recursos económicos más bien escasos como es el nuestro.

Naturalmente la base fundamental para un buen reconocimiento geológico es la posesión de un buen mapa topográfico y el nuestro es bueno. Disponemos del mapa topográfico de España a escala 1:50.000 con curvas de nivel cada 20 metros (1:30 hojas que abarcan todo el país, no completo del todo pero al que sólo faltan actualmente unas pocas hojas). Además algunas de entre las áreas más ásperas o de mayor interés están representadas a una escala 1:25.000, con curvas de nivel cada 10 metros.

Es verdad que en un país tan complicado como el nuestro esta escala no es suficiente para obtener y representar cómodamente la geología de las áreas más difíciles. Pero el mapa topográfico está hecho realmente a escala 1:25.000 y sólo a los efectos de publicación se reduce a la mitad. De todos modos, copias en negro de los originales 25.000 pueden ser obtenidas y esta es una escala suficiente para representar casi todas las áreas, menos las de máxima complicación, mientras que la escala 1:50.000 es apta para las más sencillas, tales como las mesetas, etc., que son frecuentes en España.

Es evidente que desde que se inició la tarea de confección de este mapa constituye el trabajo fundamental de nuestro Instituto Geológico.

Su confección es lenta debido al limitado número de geólogos que en él trabajan, consecuencia, a su vez, del limitado presupuesto de que se dispone, pero a pesar de todo se han publicado hasta ahora cerca de 250 hojas.

Estas hojas se componen del mapa mismo, de un texto explicativo y de una serie de cortes geológicos. El mapa a escala 1:50.000 será, en el futuro, la base fundamental de la cual se extraerán los datos para la composición de mapas a mayor escala (el 1:400.000 y el 1:1.000.000).

En el presente momento la cartografía oficial se compone de las hojas a escala 1:50.000, ya mencionadas, con texto explicativo; mapas provinciales con memoria (la escala establecida por ahora es la de

1:200.000); mapa nacional a escala 1:400.000, sin texto; mapa nacional a escala 1:1.500.000, y además:

Mapa Geológico de España 1:1.000.000 (primera edición 1932).

Mapa Minero y Geológico de España 1:1.500.000 (edición 1934).

Mapa Geológico de España 1:1.000.000 (segunda edición 1936).

Mapa Minero y Geológico de España 1:2.500.000 (edición 1936).

Mapa Geológico e Hidromedicinal de España 1:2.500.000 (edición 1947).

Mapa Geológico de España 1:1.000.000 (tercera edición 1952).

Mapa Vulcanológico de España 1:1.000.000 (1954).

Mapa Geológico de España 1:1.000.000 (cuarta edición 1955, con relación de fuentes de conocimiento y bibliografía cartográfica).

El lector podrá apreciar que el mapa general de España a escala 1.000.000 es revisado cada pocos años para mantenerlo al corriente del progreso de la investigación geológica.

Considero que esta gradación de escalas es muy completa y útil. Lo que más se echa en falta es un texto explicativo al mapa escala 1.000.000 como dijimos antes. No sería muy difícil redactar una descripción sencilla, pero lo que realmente se necesitaría es una bastante completa, digamos, una modernización del trabajo de Mallada. Esta tarea fue comenzada para la edición de 1932, pero aparecieron solo dos volúmenes, los que trataban de las rocas metaforfílicas e hipogénicas y de las formaciones cambrianas y silurianas, pero nunca se avanzó más y los volúmenes publicados empiezan ya a ser anticuados.

Examinemos rápidamente las características de esos mapas.

Los mapas de provincias son muy populares debido a su texto explicativo. Muchos de ellos resultan ya anticuados, juzgados con criterio moderno, y deberían ser renovados, pero se carece de fondos y del personal necesario para esta revisión en plan rápido. Sin embargo, muchos constituyen aún la representación más detallada que se puede obtener, y todos ellos contienen datos estratigráficos muy útiles, que constituyen la base en que se han apoyado muchos reconocimientos modernos orientados al estudio tectónico regional, nacionales y extranjeros. Recientemente han sido publicadas nuevas ediciones de dos provincias, o más bien, descripciones totalmente nuevas sobre base moderna. Consisten en recopilaciones sumarias de los datos estratigráficos y tectónicos más importantes, con listas completas de los fósiles encontrados en la región clasificados por formaciones, y cortes geológicos locales y generales, ilustrado todo con abundantes fotografías. Estos mapas se orientan al uso del público que posee algún conocimiento de geología, y tienen mucha aceptación para consulta general.

La distribución general por provincias, concepto puramente administrativo, se mantiene por inercia de la tradición, pero sería mejor adoptar un sistema de distribución basado en unidades naturales y geológicas aun guardando el mismo objeto y composición generales. Son

trabajos basados principalmente en síntesis, es decir, que no se realizan para su ejecución, por lo general, trabajos especiales de campo.

Sería muy conveniente cambiar este sistema o por lo menos modificarlo. El trabajo de reconocimiento general, realizado por unidades geológicas naturales a escala 1:50.000, sería una excelente preparación para la futuras hojas y al mismo tiempo proveería un acopio de observaciones perfectamente uniforme en criterios y métodos geológicos para alimentar el trabajo de síntesis. Me extenderé más adelante sobre estas ideas, pero considero que sería un excelente plan para cualquier país y proveer de este modo material, simultáneamente tanto para los mapas detallados como para los de escala general, dividir el país en unidades naturales geológicas; hacer trabajos de reconocimiento general a escala 1:50.000, tanto de preparación para las futuras hojas como para las síntesis generales. Se obtendría una gran uniformidad de criterio y de detalle, uniformidad muy conveniente y que raramente se encuentra en la mayor parte de los países.

Buen resultado daría su ejecución por grupos de tres geólogos de los cuales dos trabajen en el campo y uno se dedique a estudiar y sistematizar los datos obtenidos en el día anterior. Una rotación entre ellos en estas tareas les daría oportunidad a todos de familiarizarse a fondo con los problemas.

El mapa a escala 1:400.000 se revisa continuamente, siempre dentro de nuestros limitados fondos. Nuevas ediciones revisadas, de diferentes hojas, aparecen periódicamente. Es también un mapa muy útil y de gran demanda. Puede ser usado para representación de conjuntos mayores, agrupando las diferentes hojas según convenga, y hasta como representación de conjunto del país, aunque, naturalmente, necesita mucho espacio, algo menor que el mapa internacional de Europa. Se usa más corrientemente en agrupaciones menores, para representar regiones, o cada hoja individualmente. No va acompañado de texto explicativo. Hasta ahora no representa más que datos estratigráficos, pero las ediciones futuras debieran también contener datos tectónicos. Están, en su mayor parte, basados en síntesis, pero se realiza cierta cantidad de trabajo de campo para completar y contrastar los datos cuando se estima conveniente.

Los mapas mineros y minero-medicinales no requieren mucho comentario. También son útiles. Su geología se expresa, lógicamente, sólo en líneas generales.

La escala 1:1.500.000 ha sido abandonada y sustituida por la más práctica del 1:1.000.000. Una edición muy reciente de este último mapa ha aparecido en 1955. Es mapa muy popular y la edición anterior (1952) se agotó en menos de dos años. Es muy útil, tanto como mapa mural para consideraciones de índole general o para la enseñanza, pero también para llevar al campo como guía u orientación.

La edición de 1952 no fué una revisión de las anteriores, sino síntesis

completamente nueva. En la edición de 1955 fueron incorporados muchos datos obtenidos durante la intensa y reciente actividad industrial (investigación del petróleo), que proporcionó muchos datos nuevos. Se ha suplementado con un texto que no es una explicación, sino meramente una exposición de motivos y justificación de criterios. Se citan en él las fuentes de información y un comentario breve: explica cómo y por qué ha sido resueltas las dificultades de acoplamiento de los distintos trabajos de diversos autores, con diferentes criterios.

La composición de tal mapa es un trabajo mucho más difícil de lo que puede parecer a primera vista. Plantea muchos tipos de dificultades, pero las mayores son siempre las de selección y unificación de criterios diferentes. El texto es de especial interés puesto que comprende una bibliografía bastante completa de los mapas más modernos publicados, sean de origen oficial o privado. Muchos trabajos, aún no publicados y amablemente facilitados por sus autores, han enriquecido este mapa.

Hubieramos querido que este mapa hubiera representado las características tectónicas de nuestro país, tales como fallas, cabalgamientos, etcétera, pero, después de detenida consideración, nos vimos obligados a abandonar este plan debido a la falta absoluta de equilibrio entre los datos de que disponíamos. Mientras que algunas regiones son bastante bien conocidas, y estamos provistos de suficientes datos tectónicos acerca de ellas, no ocurre lo mismo con otras incluso más complicadas, de las que solamente tenemos datos escasos, deficientes e incluso inexistentes. Se daría una idea errónea de los hechos reales y de las diversas complicaciones tectónicas si intentáramos sintetizar material de tan distinta calidad en un mismo conjunto.

El mapa 1:50.000 con sus series estratigráficas detalladas, sus datos tectónicos, cortes transversales generales y de detalle, y un texto explicativo completo es verdaderamente un mapa muy bueno y útil. Sin embargo, sería de desear, para cualquier país que emprenda este mapa u otro similar, que antes de proceder a su confección se hiciera proceder como dijimos antes, por un trabajo de reconocimiento general, que consistiese en la cartografía en líneas más generales pero a la misma escala, de las diferentes regiones naturales.

La división de un país en hojas cuadrangulares de una misma medida es totalmente independiente de todo criterio geológico. De no tener un conocimiento previo muy avanzado del país (y no lo tenemos del nuestro, o mejor dicho, es aún muy irregular), la confección de las hojas del 50.000 tiende lógicamente a caer en la anarquía. Como cierta cantidad de dinero es destinada a pagar la confección de cada hoja se propende a estudiar solamente el área estrictamente comprendida en ella. Y si no se adopta un plan de trabajo sistemático la selección de cada hoja también tiende a ser anárquica. De ello resulta la deficiencia de verse obligados a interpretar complicados problemas tectónicos o estratigráficos de categoría regional dentro de un marco de observación de alcance

meramente local y limitado. Como consecuencia las hojas carecen muy a menudo de puntos de vista suficientemente generales y también muchos problemas quedan sin resolver, porque las soluciones no residen dentro del área de la hoja. Carecen de suficiente comprensión de las cuestiones generales y las conclusiones paleogeográficas son muy incompletas e incluso inasequibles. Todo el trabajo se resiente de una falta de suficiente conocimiento básico.

Por esto es por lo que considero que, a todo trance, debería emprenderse el estudio de las unidades naturales antes de comenzar el de las hojas a escala 50.000, trabajo que sería una preparación excelente para la obra del futuro.

Hasta hace pocos años era muy difícil tener acceso a los archivos de índole militar donde se dispone de la fotografía aérea del país, de modo que el uso de esta herramienta de tantísima utilidad nos estaba prácticamente vedado; afortunadamente ahora es posible obtener copias y se hace un uso cada vez más intenso en la preparación, labores de campo y afinación y retoque de las hojas del 50.000 con la ayuda de la fotografía aérea. Lo que sin duda se ha de reflejar pronto en una gran mejora de la calidad. Pero tanto la tramitación de la obtención de estas fotografías, que es muy larga, como su precio, que es elevado, constituyen aún obstáculos, aunque afortunadamente rebasables. Toda gestión de UNESCO para facilitar estos trámites, que más o menos acusados existen en todos países, sería de extrema utilidad.

Algunas consideraciones acerca de la preparación cartográfica de regiones mal o poco conocidas

Algunos países de tradición geológica muy vieja y avanzada están en posesión de una cualidad muy deseable: equilibrio entre el grado de conocimiento de las diferentes regiones naturales que lo constituyen.

En España, país verdaderamente complicado desde el punto de vista geológico, queda aún por hacer una enorme cantidad de trabajo y se han de adquirir muchos conocimientos antes de que podamos decir que realmente conocemos nuestro suelo. Pero, además, el grado de nuestro conocimiento de las diferentes regiones, dotadas de muy diversas características geológicas, varía muchísimo, y está muy lejos de ser equilibrado. Algunas, como la pirenaica y la ibérica, aunque aún contengan muchos problemas por resolver, son relativamente bien conocidas, mientras que otras cordilleras de plegamiento alpino y las áreas cristalinas y altamente metamórficas estén muy retrasadas con respecto a aquellas en su grado de conocimiento. Es mi opinión que en países menos desarrollados, y con el fin de evitar esta circunstancia nociva, debiera establecerse un doble sistema de investigación geológica, especialmente cuando el subsuelo atesora la promesa de grandes riquezas minerales.

Por una parte, debiera existir un servicio oficial al que debiera confiarse el desarrollo de los estudios geológicos, independientemente, o más bien no inmediatamente dependiente de su aplicación al desarrollo de riquezas subterráneas. De este modo podría establecerse y desarrollarse un plan gradual de estudio, de gran alcance, cuyo objeto principal sería promover un desarrollo gradual, armónico y equilibrado de conocimientos geológicos. Harían falta para este fin investigadores, individualidades brillantes que encontrarían en esta clase de actividades su campo apropiado.

Por otra parte, debieran establecerse grupos de investigación, bien sea su funcionamiento encomendado a instituciones oficiales o privadas o a una combinación de ambas, especializadas en el estudio avanzado de las áreas más prometedoras, sobre la base de trabajo colectivo, en equipo, dotados de la más alta preparación práctica. Debido al hecho de que este tipo de investigación industrial necesita desarrollarse rápidamente para que sea financieramente provechoso, y que exige muchos medios de control técnico (geofísica, perforaciones, etc.), lo que por razón de su enorme costo suele estar desgraciadamente fuera del alcance de las organizaciones oficiales de limitado presupuesto, o al menos disponea de esos medios a escalas mucho más reducidas.

Si nos proponemos alcanzar el equilibrio deseable en el conocimiento de las condiciones geológicas de un país, el progreso ha de ser necesariamente lento, o mejor dicho, gradual, por las razones que intentare exponer, tan claramente como sea posible, en el párrafo siguiente.

Discusión de algunas limitaciones inherentes a la naturaleza del trabajo geológico

Hace un año, en una conferencia dada a un grupo de futuros geólogos en la Universidad de Oviedo, esboqué algunas ideas que no he visto expuestas ni discutidas nunca, aunque, desde luego, puede que otros geólogos hayan pensado en ellas con anterioridad.

En aquella ocasión me referí principalmente a ese asunto como contestación a algunas críticas con respecto a la calidad de los trabajos geológicos.

Generalizaré la cuestión en un intento de demostrar que un progreso gradual, por decirlo así una evolución cíclica en el desarrollo de los conocimientos geológicos, es de suma importancia para la calidad y solidez futuras del conocimiento ganado. A mi parecer la razón reside en la existencia de factores naturales que limitan la calidad del trabajo geológico independientemente, hasta cierto punto al menos, de la calidad y conocimientos del geólogo. No se niega, naturalmente, que un buen geólogo obtendrá en casos similares muchos mejores resultados que un geólogo que no lo sea tanto, pero de todos modos queda sujeto, sin embargo, a las mismas limitaciones, aunque a nivel superior.

Los fundamentos de estas limitaciones son variados en su naturaleza e influencia. Voy a continuación a pasar revista rápidamente a algunos factores limitantes.

Empecemos con la naturaleza misma del trabajo geológico: toda cartografía geológica original deriva sus materiales de una sola fuente: la observación. Pero la calidad y cantidad de la observación están condicionadas por muchas causas ajenas a la voluntad del geólogo y a su capacidad, y a esta idea se llega inmediatamente otra, en la que creo firmemente: la perfectibilidad permanente del trabajo geológico. En mi opinión el trabajo geológico puede ser perfeccionado siempre, independientemente de su calidad, en forma asintótica.

Cuando un geólogo llega a una región desconocida, o casi desconocida, necesita asimilar todos los conocimientos como si fueran una novedad, en cambio, en una región que ya le es familiar, en mayor o menor grado, tiene solamente que asimilar nuevos matices.

La capacidad de asimilación del conocimiento es gradual. En su primera visita el geólogo se halla absorbido y su atención atraída, por las características más salientes, que pueden ser o no ser, las más significativas o importantes, y que en muchos casos no lo son. Sólo después de que ha asimilado las características más salientes puede el geólogo pasar a absorber otras características menos evidentes, pero que, como anteriormente hemos dicho, pueden ser de mucha importancia, y en mi opinión el proceso se repite más o menos indefinidamente. Por esto es por lo que (al menos eso me ocurre a mí, y me imagino que lo mismo ocurre a la mayoría de los geólogos) cuando volvemos a una región, aun cuando tengamos un conocimiento previo muy profundo de ella, no dejamos nunca de hallar nuevos datos, nuevos matices, que han pasado inadvertidos anteriormente, incluso inexplicablemente inadvertidos. Podemos haber recorrido y examinado repetidamente la superficie de un frente de montaña con el mayor cuidado, pero muy a menudo si volvemos después a él, notamos algunos hechos que eludieron nuestra previa observación. En mi opinión esto no constituye un defecto de observación, sino un fenómeno natural debido a la capacidad gradual de adquirir conocimientos.

Siendo esto así hay un factor que adquiere máxima importancia el tiempo: el tiempo que un geólogo pueda invertir en el estudio de una determinada región, para poder visitarla repetidas veces, después de haber tenido tiempo suficiente para asimilar su conocimiento; y el tiempo depende directamente de los medios económicos puestos a su disposición y también del planeamiento general, es decir, del grado de conocimiento deseado si es que se acepta que su desarrollo sea gradual. Por consiguiente, un geólogo que llega a una región después de haber asimilado el conocimiento adquirido por un investigador previo, se encuentra en una posición aventajada para estudiarlo desde un nivel supe-

rior, y de esta manera puede apreciar detalles correspondiente a ese nivel y ejercer crítica.

Este razonamiento nos lleva a la conclusión de que el factor tiempo es una limitación natural inherente, en forma derivada, a la naturaleza del trabajo geológico.

Aclaremos este punto. Si viajamos de X a Y obtenemos una impresión muy diferente del paisaje que si hiciésemos el viaje de Y a X. A veces hasta pensamos que hemos atravesado país distinto. Nunca vemos ni apreciamos en un mismo grado lo que tenemos frente a nosotros y lo que dejamos atrás. Por consiguiente, toda excursión geológica o itinerario, debería ser hecha, teóricamente, para lograr la mayor perfección, en las dos direcciones opuestas.

Pero en el mismo orden de ideas surgen aun más factores limitadores de la calidad, de naturaleza inherente a factores de capacidad de índole impersonal.

El ángulo de iluminación es un factor muy importante en lo que se refiere a la calidad y cantidad de observación. En días nublados muchos detalles subrayados por la sombra o por matices de color pueden pasar inadvertidos. Los rayos oblicuos del anochecer o del amanecer pueden hacer resaltar rasgos de otro modo no visibles, y que pueden ser de categoría trascendental.

Hasta la nieve, generalmente de por sí un obstáculo, puede poner en evidencia estratificaciones, fallas u otros factores tectónicos de manera casi increíble sobre el declive de las montañas, que en condiciones diferentes hubieran resultado totalmente inexpresivos.

Y no mencionemos el factor de la suerte, que tantas veces ha tenido papel decisivo en el descubrimiento de datos paleontológicos.

Además, la influencia de estos factores favorables o desfavorables disminuye en proporción al tiempo que permanezcamos en el campo de observación o de la cantidad de veces que lo visitemos.

Solamente hemos trazado la cuestión en esquema muy sumario, subrayando algunos de entre los aspectos más característicos. Si dispusiéramos de más tiempo o de más espacio podríamos detenernos más difusamente sobre ellos. Además, la cuestión está ligada a otros problemas de organización, originalidad y personalidad. Creo que esta exposición es suficiente por ahora para llamar la atención acerca de este problema hasta ahora descuidado.

Otra cuestión merecedora de consideración es el grado de libertad aconsejable y permisible de extrapolación: la proporción admisible entre cantidad y calidad de la posible observación, y la libertad de interpretación o extrapolación. ¿Debe ser un mapa estrictamente observativo? ¿Se puede admitir que sea interpretativo? Estas son consideraciones de primordial importancia cuando se establecen las bases para la organización del trazado de un reconocimiento geológico.

* * *

Este trabajo, como los restantes, fué sometido a debate. Como aun no se han publicado las actas y mi atención estaba sujeta a la necesidad de atender a interpelaciones en dos idiomas que no eran el mío, no pude anotar, ni tampoco retener en la memoria, los comentarios que se hicieron, tanto más cuanto que fueron abundantes. Sólo añadiré que fué, como digo, muy comentado. Especialmente Mr. Routhier apoyó vivamente muchos de los puntos de vista expuestos, puntos que coincidían con los de otro trabajo suyo de gran interés y de mucho cuerpo de doctrina que fué leído más tarde, y que desgraciadamente no se encuentra entre aquellos de los que se habían preparado copias en el momento de terminar el Simposio.

APENDICE II

II GRUPO DE ESTUDIOS. SECCIÓN B

«*Algunas ideas acerca de la enseñanza de la geología y un experimento interesante: campos de entrenamiento para geólogos noveles.*»

RESUMEN

Durante los últimos veinte años ha estado el autor estrechamente relacionado con la enseñanza de la geología, y hace tres que fué nombrado Profesor de Geología en la Escuela Especial de Ingenieros de Minas de Madrid.

En este periodo ha podido adquirir una experiencia extensa, a la vez que intensa, sobre la formación y preparación de la mentalidad del geólogo.

Después de trazar el desarrollo mental del estudiante que entra en contacto por primera vez con las enseñanzas superiores de geología o ciencias afines, expone un proyecto destinado a fomentar la máxima capacidad mental en el campo de la teoría, y analiza los resultados obtenidos en un experimento interesante de instrucción práctica en geología de campo.

El elemento humano

Nuestros alumnos tienen su primer contacto con la Escuela de Minas generalmente a la edad aproximada de diecisiete años, al terminar sus estudios secundarios, lo que equivale, más o menos, al bachillerato francés o al Higher School Certificate en Gran Bretaña y Estados Unidos.

En España la teoría y la práctica de la geología pueden adquirirse siguiendo dos caminos distintos: la Universidad o la Escuela de Minas. Sin embargo, en España, por razones de tradición y por otras causas, los geólogos de formación universitaria tienden más bien hacia la enseñanza y la investigación, mientras que los geólogos que han cursado en la Escuela de Minas constituyen exclusivamente el personal fijo del Instituto Geológico y Minero de España o entran en la industria minera para orientación de sus problemas o para prospección de las riquezas

mineras de nuestro suelo. La separación en estos dos grupos no es ni absoluta ni rígida, pero sí de aplicación general. La enseñanza en la Escuela de Minas se reserva también a los ingenieros de minas especializados en los varios campos y ramas de la minería y de la geología.

Por consiguiente, la geología aplicada es considerada más o menos formalmente como campo de acción de los ingenieros de minas, y por esta razón, y teniendo en cuenta el objeto de este Simposio, limitaré mis consideraciones a los problemas que emanan de la enseñanza en la Escuela de Minas.

Planes actualmente en rigor para la enseñanza de la geología en la Escuela de Minas, y crítica de los mismos

Al terminar los estudios secundarios los alumnos pueden escoger una carrera técnica, y ésta puede ser, entre otras, la ingeniería de minas. Esto implica su entrenamiento en geología como disciplina auxiliar de la minería, pero además como una puerta abierta a la especialización, si así se siente inclinado, como geólogo profesional, una vez terminados sus estudios y recibidos los correspondientes títulos de la Escuela de Minas.

Para ingresar en la Escuela de Minas el pretendiente a futuro alumno debe aprobar la prueba selectiva de severos exámenes de matemáticas; la preparación para estos exámenes es puramente privada, y el tiempo empleado en esta preparación varía entre dos años para los estudiantes más brillantes a cuatro, y hasta seis y siete años, para los menos estudiosos o capacitados; no hay límite de edad para la entrada a la Escuela de Minas. Durante este periodo de preparación un alto porcentaje de aspirantes es eliminado; los que aprueban constituyen un verdadero grupo de selección, una selección basada casi exclusivamente en su preparación matemática.

Como profesor de geología encuentro que, para mi objeto, los alumnos llegan a nuestras clases con mentalidad deformada por una excesiva obsesión por la exactitud matemática. Esto constituye decididamente un inconveniente para el estudio y práctica de las ciencias naturales, puesto que provoca un fuerte recelo de desconfianza en contra de todo razonamiento o hecho que no pueda expresarse mediante una fórmula matemática. Es ésta una dificultad que debiera evitarse en cualquier plan que tenga por fin fundamental o accesorio la preparación de futuros geólogos, y con ánimo de lograrlo he trazado un plan de estudios que espero pueda remediar este y otros inconvenientes del plan vigente.

En la actualidad este plan es muy rígido. Se desarrolla a lo largo de cinco años de estudios en la Escuela de Minas; sus cursos empiezan en octubre y terminan con los exámenes en mayo-junio, completados por trabajos prácticos llevados a cabo durante los veranos de los últimos dos

años. El plan es único, de modo que no se ofrece ninguna oportunidad para la especialización u orientación profesional intraescolar durante los cinco años: todo alumno está sometido a la misma preparación, que comprende en conjunto cursos sobre las siguientes materias principales: Minería y sus ramas, Geología y ciencias auxiliares, Siderurgia, Metalurgia, Preparación de minerales, Topografía, Construcción, Electrotecnia y algunas otras disciplinas, como Legislación, Economía, etc., etc., aparte, claro es, de las disciplinas básicas, como Física y Física nuclear, Química, Mecánica, etc., etc.

Ahora bien, en países como el nuestro, de gran tradición minera, o en países que abrigan posibilidades para el desarrollo futuro de una industria minera, la geología aplicada se relaciona lógicamente con la enseñanza de la minería. En tales casos considero muy deseable que la enseñanza de la geología se asocie tan estrechamente como sea posible a la enseñanza de la industria minera; pero esto implica una mayor libertad en los proyectos de estudios que la que encontramos actualmente.

Los primeros contactos que nuestros alumnos tienen con la enseñanza de la geología son, en muchos casos, casi repelentes, debido a la necesidad de usar un mecanismo mental a cuyo desarrollo y empleo no están acostumbrados: la facultad y técnica memorística, y sobre todo, debido quizás a la desconfianza que sienten, como dije anteriormente, por todo razonamiento que no esté respaldado por fórmulas matemáticas.

Sin embargo, según mi experiencia, después de un periodo harto difícil de reajuste muchos de entre los alumnos, cuyas imaginaciones pueden ser más fácilmente desencadenadas, sintonizan, muestran gran interés y algunos entre ellos se deciden a escoger la geología como futura profesión.

Muchas de estas dificultades, que sin duda existen también en los planes de estudio de otros países, podrían evitarse mediante la adopción de un proyecto más racional.

Como dijimos anteriormente, nuestro plan vigente es muy rígido, no sólo en su esquema general, sino también en la enseñanza de las ciencias relacionadas con la geología.

Las dos primeras asignaturas naturalistas con que entran en contacto son la Mineralogía y la Petrografía, en su segundo curso en la Escuela. Ciertamente es que la Geología, junto con las otras ciencias naturales, son estudiadas en la educación secundaria; pero también es cierto que en el nuestro, como en la mayor parte de los demás países, el programa de estudios secundarios abarca tantas asignaturas y tan variadas que sólo permite al alumno adquirir un conocimiento superficial de ellas, que para la mayor parte se entremezcla pronto con los de otras, provocando en el estudiante una gran confusión, que termina en el olvido en mayor o menor grado de esos conocimientos. Desde los días de mi propia educación secundaria hasta hoy los estudios se han complicado y extendido más y más, por razones de todos muy bien conocidas, pero que están fuera del objeto del presente análisis. Lo que quiero subrayar es que

cuando los alumnos llegan a nuestras clases tienen que empezar de nuevo sus estudios científicos, pero a un nivel mucho más alto. Bien es verdad que su preparación en matemáticas superiores significa una profunda gimnasia mental (ésta es en gran medida la razón y el objeto de esa clase de preparación matemática). Se puede poner en duda su eficacia con respecto a muchas ramas de la formación científica y humana, pero no discutiremos aquí este problema; mucho podría decirse en pro y en contra del sistema, pero nadie podría negar que esta preparación establece un alto nivel mental. Puede haber otros métodos, incluso mejores, pero este es, sin duda, un gran método de formación mental unilateral.

Paleontología es la tercera disciplina natural que deben estudiar en el tercer curso; Geología, la cuarta (en el cuarto curso), y Génesis de minerales y Criaderos, la última (en el quinto, o sea el último curso). Además de esto hay cursos cortos de Geofísica (en el tercer curso) y Petróleos (en el quinto).

En los veranos del cuarto y quinto años se puede, a elección, hacer trabajos prácticos de Geología o de cualquier otra disciplina.

En mi opinión, ese sistema es demasiado rígido, en cuanto que esas asignaturas se estudian separadamente como si fuesen asignaturas independientes, cuando, en verdad, todas se relacionan entre sí para formar un cuerpo armónico, en dependencia unas de otras, y si no se las estudia en su conjunto se pierde gran parte de su eficacia; los alumnos no alcanzan a comprender la razón que exige el estudio de tal o cual materia ni pueden apreciar el fin, la función o la categoría, en una palabra, el papel o la importancia, de cada una de las partes dentro del todo complejo de la Geología.

Hay, desde luego, una razón para este mecanismo; está basado en la hipótesis que supone al estudiante en posesión ya de esta visión de conjunto y de que puede por sí mismo encajar y clasificar las diversas partes dentro del todo; mas, desgraciadamente, esta hipótesis es falsa en la mayor parte de los casos. El estudiante, como hemos dicho previamente, debido al desarrollo constante y al número siempre creciente de asignaturas de estudio, y también como consecuencia lógica de su juventud, de su falta de madurez mental y su corta experiencia al estudiar tales asignaturas durante los años de bachillerato, no tiene una trama mental en esas materias suficientemente capaz para injertar en ella con provecho las nuevas enseñanzas que, de golpe, comienzan a un nivel mucho más alto. Este problema, que es verdadero en mayor o menor grado en todos los países, se va complicando cada día más. Está fuera de lugar discutirlo aquí y analizar sus soluciones. Volvamos a nuestro tema.

El estudiante de mineralogía y petrografía adquiere cuantiosa información sobre minerales, rocas, formaciones, deformaciones, etc., pero todo lo que tiene para orientar su mente, para componer su imagen gráfica, son... unas muestras de museo. Su mente debe retener las más abstrusas y complicadas clasificaciones de rocas, sin tener la más mínima

idea del aspecto que estas tienen en el campo, sus dimensiones, su relación con otras rocas, ni su función en la Naturaleza.

Todo esto constituye una gran deformación en la enseñanza de las Ciencias Naturales, error que se debiera evitar, a todo trance, si queremos que dicha enseñanza sea verdaderamente eficaz, si queremos ahorrar gran parte del esfuerzo realizado y salvar del naufragio muchas vocaciones, acaso brillantes.

El problema, sin embargo, no tiene solución tan fácil como podría parecer a primera vista. Si empezamos a llevar los alumnos al campo antes que estos hayan adquirido suficiente conocimiento de la materia no les será de mucho provecho, y, por otra parte, tampoco puede sacárseles a cada momento para seguir en la Naturaleza el progreso incrementante de sus conocimientos. Hay muchas razones que lo impiden: la inevitable interferencia respecto a la enseñanza de otras asignaturas; en muchos casos también las dificultades resultantes de la ubicación de los centros de enseñanza en regiones monótonas y poco interesantes, demasiado alejados de las que serían verdaderamente adecuadas, y, por último, y no menos importante, razones de orden económico, que en nuestro país, y sin duda también en otros, son muy serias. Todas estas razones obstaculizan el estudio práctico en el campo. Pero debemos esforzarnos en la conquista de todas estas dificultades y en dar solución a los problemas que surgen en la enseñanza y formación del futuro geólogo.

Un plan mejor para la enseñanza de la Geología

Creo firmemente en la eficacia del método cíclico para la enseñanza. Nuestro sistema vigente es completamente acíclico y estoy convencido de que muchas de nuestras dificultades actuales desaparecerían con el sistema de progresión gradual, tal como se practica en la enseñanza cíclica.

Hace algunos años propuse un nuevo plan de enseñanza, basado en el método cíclico, a las autoridades de la Escuela de Minas. Este plan fué entonces rechazado, quizá por no estar maduro el ambiente. Pero algunos años más tarde se hizo tan evidente la necesidad de reforma que fué nombrada una comisión a cuyo examen y coordinación se sometieron varios planes de distintas tendencias.

La necesidad de reforma de nuestro plan de estudios tiene un alcance mucho más vasto que el de la simple enseñanza de la geología. Tiene su origen en muchas causas, muchas de profunda raíz; la exposición de dichas causas, aunque fuera del tema verdadero de esta comunicación, puede ser de utilidad. La más importante es la necesidad de reducir el número de años que el alumno corriente debe emplear para completar su carrera (de nueve a diez años), con objeto de tratar de evitar que lleguen al término de sus estudios a la edad de veintiséis a veintiocho

años con gran perjuicio para el cuerpo social, por pérdida del rendimiento de los años de más empuje, por desajuste de la edad al ambiente y por la pesada y larga presión económica a que se sujetan a las familias. El natural deseo de contraer matrimonio complica las cosas para muchas vocaciones geológicas.

Otra de las causas es peculiar de nuestra organización jerárquica en los mandos mineros. Las categorías más altas en la jerarquía de las minas las ocupan, naturalmente, los ingenieros. La categoría intermedia se recluta entre los mineros más inteligentes después de cierta práctica técnica adquirida en las diversas escuelas que funcionan en los más importantes distritos mineros, escuelas que dependen de la autoridad de la Escuela de Minas de Madrid.

En vista del esfuerzo presente para el desarrollo de nuestro país en el campo industrial, y con la consecuente creciente complejidad de nuestra industria y progreso de la mecanización, se hace imperativa la necesidad de llenar el vacío, de reducir la distancia entre las autoridades dirigentes y las ejecutivas o de tajo. Creo, como muchos, que la mejor solución a este problema se encontraría en la creación de una categoría intermedia de técnicos que podría ser creada mediante el sistema cíclico de estudios. Por último, el sistema cíclico de estudios daría mayor libertad en la elección de las asignaturas, y se adapta, por consiguiente, mejor al sistema de especialización.

No podemos aquí entrar en detalles sobre este nuevo plan propuesto para la reforma de nuestros estudios, pero he de tratar de trazar a grandes rasgos sus directrices principales. Como ha sido dicho ya, los objetos primordiales de esta reforma son abreviar el periodo de estudios, proveer una categoría intermedia de preparación técnica y, finalmente, permitir a los estudiantes la especialización conforme a sus vocaciones individuales y, como consecuencia obvia, abrevian el periodo de estudios por eliminación de asignaturas innecesarias a la especialidad que elige.

Ante todo, se quitará énfasis a los exámenes preliminares de matemáticas adaptando su programa muy cuidadosamente a las de aplicación práctica. Ya no se las considera como una gimnasia mental ni tampoco como un obstáculo con el fin de seleccionar y limitar los candidatos, o por lo menos se atenúan mucho estas características. Se extiende, en cambio, la preparación a las Ciencias Naturales para ampliación del campamental y ejercicio de las facultades memorísticas. Se establece un periodo de dos, a lo más tres años, como límite de tiempo admitido para la preparación de estos exámenes de ingreso.

Después de su ingreso en la Escuela de Minas el alumno se sujeta a un currículo abreviado de asignaturas esenciales relacionadas con la minería, este curso que se extiende a tres años comprenderá: Física, Química, Mecánica, Topografía, Electrotécnica, Construcción, Petrografía, Estratigrafía unida a Paleontología, Geología y Criaderos Minerales, Siderurgia y Metalurgia y Minería. La parte teórica se restringe

a los elementos prácticos y se exige un entrenamiento práctico intensivo, al par que otras asignaturas auxiliares.

Este plan provee un conocimiento completo, a nivel medio, de todas las disciplinas relacionadas con la industria minera y metalurgia y habilita al estudiante, por medio de un Certificado de Grado Intermedio, que lo califica como técnico en industria minera y metalúrgica.

Sólo un cierto número de alumnos que rebase un nivel preestablecido podrá continuar sus estudios para la obtención del título superior.

Los alumnos admitidos al Curso Superior recibirán instrucción en Matemáticas Superiores y Físico-Química y Física Nuclear durante un año; mas tarde los alumnos podrán elegir una especialización cualquiera entre las siguientes: Minería, Geología, Siderurgia-Metalurgia y Técnicas Auxiliares que comprenden electrotécnica, preparación de minas y mecanización. Cada una de estas especialidades deberá ser desarrollada en dos años y un trimestre.

Cada especialización comprende una mayor o menor parte de las otras puesto que tiene en común cierto número de materias, de modo que dos especializaciones pueden ser completas en tres años, por ejemplo, minería y geología, o minería y técnicas auxiliares, que se complementan de manera muy útil y natural.

Terminados los estudios y sus correspondientes entrenamientos prácticos los alumnos recibirán un título de Ingeniero de Minas en una o más especialidades.

Un curso especial para capacitación a la dirección de empresas podría ser establecido, con carácter voluntario, para ingenieros con diez años de práctica de la carrera.

No podemos entrar aquí en detalles referentes al programa de estudios que esbozamos solamente en sus líneas generales.

La preparación para el Certificado de Geología comprende las siguientes asignaturas, desarrolladas todas ellas a partir ya de un alto nivel.

PRIMER AÑO

1. Cristalografía y Mineralogía.
2. Petrografía y Petrogénesis.
3. Paleontología y Estratigrafía.
4. Combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.
5. Geodinámica externa.
6. Dibujo aplicado a la Geología.

SEGUNDO AÑO

1. Geología estructural y tectónica.
2. Hidrogeología y geología del petróleo. Técnica de sondeos.
3. Períodos geológicos. Geología de España y del Mundo.
4. Criaderos minerales.
5. Métodos geológicos de campo y fotogeología.
6. Geofísica y Mecánica del suelo.

T R I M E S T R E

Trabajos de campo.

Otras consideraciones

Creo firmemente que un plan cíclico como este produciría mejores resultados en menos tiempo y con mucho menor esfuerzo para el estudiante y para el cuerpo social. Toda vocación sería utilizada, puesto que hasta los alumnos menos dotados y rechazados actualmente en el ingreso lejos de considerarse malogrados después de años de esfuerzo y de lucha por asimilar conceptos abstrusos de matemática, cuya utilidad no saben comprender, podrían lograr su vocación obteniendo un Certificado de Grado Intermedio.

En todo caso, sea o no sea este plan preferido al plan vigente a pesar de las consideraciones expuestas, sostengo que:

Antes de iniciar los estudios siguiendo los métodos y programas en vigor en la mayor parte de los países, a saber: Mineralogía y Petrografía, Paleontología, Dinámica Externa y Estratigrafía, Dinámica Interna y Tectónica, Períodos Geológicos, Petrogénesis y Criaderos y Geología aplicada (Hidrología, Geofísica, Exploración, etc.), considero muy importante que el alumno se prepare mediante un curso preliminar breve de doce a veinte lecciones de Geología (comprendiendo también elementos de Petrografía). Este curso deberá completarse por una excursión al campo, para que el estudiante pueda inmediatamente hacerse una idea clara del papel que cada una de estas enseñanzas desempeña en el conjunto, de la magnitud de cada fenómeno, de las rocas y sus deformaciones, vistas en plena Naturaleza.

Sólo después de que esta introducción sea completada podremos esperar los mejores resultados en los cursos superiores.

Un experimento interesante: Campamentos para prácticas de geólogos noveles

La enseñanza teórica no conseguirá nunca la formación de geólogos por muy perfecta y completa que sea. Le proporcionará al principiante los instrumentos de su oficio, pero sólo una larga práctica de geología en el campo y mucho amor a su trabajo le convertirán en geólogo.

En países como el nuestro donde los medios económicos invertidos en el desarrollo de los estudios geológicos son reducidos es difícil completar a gusto la formación de jóvenes geólogos. Los expertos en la materia son escasos y están en consecuencia muy ocupados con sus propios trabajos, de modo que el tiempo que pueden dedicar a la for-

mación profesional de los noveles es muy poco para transmitirles sus conocimientos y guiarles en sus primeros pasos.

Como consecuencia no pocos principiantes se desalientan, y sólo si su vocación está muy fuertemente arraigada resisten al abandono. En cualquier caso se ven obligados a convertirse en autodidactas. Han de aprender por sí solos, empleando mucho tiempo, no sólo para saber cómo han de arrancar a la Naturaleza sus secretos, sino también para formar su propio método de trabajo.

Este sistema tiene también sus ventajas y pueden surgir brillantes personalidades siempre que posean capacidad y vocación excepcionales; desgraciadamente las desventajas de este sistema son aún mucho mayores. Este tipo de geólogo pertenece a la historia del pasado, caracteriza una época muy brillante en la historia de la Geología, pero ahora tiene cada vez menos lugar. Puede aún producir notables personalidades en el campo de la investigación pura, en la exploración de áreas poco o nada conocidas, donde el trabajo personal y de interpretación son de importancia, pero se adapta mal al trabajo en equipo y al trabajo especializado, tal como se necesita cada vez más actualmente en geología aplicada. El trabajo de investigación en petróleo, carbón, agua, minerales radioactivos, etc., con sus técnicas de complejidad siempre en incremento, es hoy el resultado de una compleja tarea colectiva y lo será cada día más.

Incluso las funciones de las Instituciones Oficiales de geología exigen actualmente un trabajo bien concertado de equipos.

La personalidad será siempre un sello de distinción, el envidiado sello del investigador, pero es conveniente orientarla desde un principio y someterla a la disciplina del trabajo colectivo, tan necesario hoy en día para la práctica de geología aplicada.

El trabajo colectivo requiere uniformidad en los métodos usados y esta uniformidad exige la normalización de todo lo vinculado con el trabajo geológico desde el material hasta los métodos técnicos.

Con el fin de facilitar a nuestros noveles ingenieros un conocimiento de geología práctica, y también para entrenarlos en el trabajo colectivo, enseñándoles un método uniforme tanto de campo como de gabinete, he creado un proyecto que fué puesto a prueba por primera vez el verano de 1955: campamentos para la práctica de geología por geólogos noveles.

En la comunicación original se explicaba a continuación el desarrollo de esta idea explicando la organización y funcionamiento de estos campamentos, pero como ya se han publicado en estas mismas páginas, remito a ellas al lector que se interese en ese asunto.

Esta comunicación, como la anterior, fué ampliamente comentada por diversos interpeladores, pero, por la misma razón que antes, no puedo dar cuenta de las observaciones que se hicieron.

APENDICE III

CAMPO PETROLÍFERO DE RAMAN

Generalidades

El campo petrolífero de Raman explota la estructura del mismo nombre en la región de Diarbakhir en el SE de Turquía.

La estructura de Raman mide 50 kilómetros de E a O y 6 kilómetros de N a S. Está flanqueada en su borde meridional por el río Tigris que taja en su flanco un bello cañón.

Arma en calizas del Eoceno medio, dispuestas en dip-slope, de modo que la superficie del terreno coincide más o menos con la pendiente de las capas. Es un bello anticlinal, uno de los muchos presentes en la región, ligeramente asimétrico y cortado por dos fallas. El paisaje y la litología recuerdan bastante las características de nuestra estructura de Burgo de Osma, aunque la región es más árida.

La producción se obtiene de calizas cretáceas, en unos 100 metros de espesor, a unos 1.500 metros de profundidad. La cobertura está constituida por margas cretáceas y eocenas y la protección externa, como dijimos, por calizas eocenas.

El primer pozo se abrió en 1939 en el frente occidental de la estructura y otros cuatro en la misma área dieron apenas indicios o fueron estériles. El sondeo Ramán núm. 8 es el primero que produjo petróleo en diciembre de 1945 y aún sigue en producción. Las investigaciones fueron hechas por el M. T. A. y entregadas a la Corporación Petrolera de Turquía en enero de 1954, que desde entonces ha completado ocho perforaciones con producción. Se prevee que el número de sondeos completado a finales de diciembre de 1955 será de 36, de los cuales 18 son por ahora productivos.

La producción varía entre 40 y 100 toneladas diarias; es de tipo denso (A P L. 20) y se obtiene de calizas compactas del Senonense superior; es yacimiento del tipo de fracturas y la porosidad es, como consecuencia, muy variable. El petróleo es empujado por el agua hasta 100 metros por encima del nivel del mar y bombeado a la superficie.

Lleva en explotación unos cinco años y su producción, aunque de tipo reducido, no muestra tendencia a la disminución.

Parece ser que es el único campo hasta ahora productivo, pero se abriga grandes esperanzas de abrir nuevas perspectivas, bien en esta área rica en estructuras, bien en otros puntos de este país de tan ex-

tensa superficie y tan variada y compleja geología. Aparte de las formaciones secundarias y terciarias también el Paleozoico se espera que pueda ser productivo, ya que se ha encontrado petróleo en areniscas del Devónico.

Geología

Las calizas eocenas de la superficie son blancas o amarillas claras de textura grumoso irregular y no vi fósiles identificables. Aparecen bien banqueadas en lechos delgados y regulares.

El campo petrolífero está ya perfectamente delimitado, de manera que los pozos externos sólo dan agua. Ha alcanzado por consiguiente su total desarrollo. Sólo la parte más alta de la estructura, un casquete de 8 kilómetros de longitud, es productiva. Le rodea una corona de estratos acuíferos de 15 kilómetros de longitud. Entremedias se cortan mezclas de agua y aceite.

El petróleo que se produce es muy denso y oscuro (19.6-20 A. P. A., 0.93 Be) con 8 por 100 de gasolinas, 54-60 por 100 de asfaltos y 3.50 por 100 de azufre. Contiene gas en disolución, pero no lo hay libre. Es un campo, por consiguiente, en avanzado grado de oxidación o degradación. Ha de vigilarse su producción cuidadosamente.

De 36 pozos perforados hasta ahora, 18 son productivos. A distancia a unos 200-300 metros uno de otro.

La cota media de las bocas de los sondeos es de 1.200 metros sobre el nivel del mar, y yacen unos 700 metros, en gran declive, sobre el curso del Tigrís. Los niveles productivos comienzan en el sondeo número 14, que es el más profundo, a 1.380 metros y produce en forma discontinua hasta los 2.362 metros en margas oolíticas negras. El grueso de la producción se obtiene en 100 metros de espesor a unos 1.500 de profundidad.

Producción

Visitamos un grupo de cinco o seis torres situadas en un área reducida, y examinamos con más detalle los Raman 24 y 27, actualmente en curso de perforación. El equipo es IDECO, Rotary. Se emplean arcillas del país acondicionadas con Akromita. Los escapes de lodos se taponan con cebada. El personal, en todas sus facetas y categorías (geólogos y explotación) es turco, pero las categorías superiores han recibido enseñanza y entrenamiento en Estados Unidos.

La producción se mantiene entre 40-50 toneladas diarias y puede llegar hasta 100; se regula cuidadosamente para no degradar el campo. Exige bombeo hasta la superficie (bombas Lufkin) y hasta un depósito colector en la cabeza de un oleoducto de 24 kilómetros de longitud. El descenso es por gravedad, hasta la refinería de Batman, pero en invierno es preciso calentar previamente los crudos para que puedan circular.

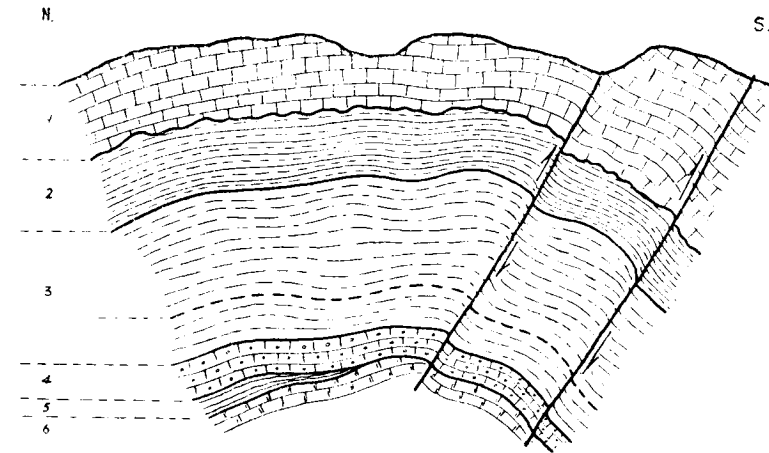


Fig. 1.—Corte esquemático a través de la estructura petrolífera de Ramán (Turquía). 1, Eoceno medio, Calizas de Midyat (250-400 mrs.); 2, Eoceno inferior, Formación de Gercüs (250-300 mrs.); 3, Paleoceno, Formación de Kermay (pars) (700-750 mrs.); 4, Maestrichtense, calizas de Orbitoides (60 m.); 5, Margas verde-negras; 6, Calizas compactas petrolíferas (150-170 mrs.).

El costo medio de cada perforación es de 400.000 l. t. unos 2.500 000 pesetas, el tiempo medio empleado es de unos dos meses.

Refino

La refinería de Batman es, según entendi, la única que existe en el país. La actual, en periodo de ensayo, es modernísima, de fabricación americana, y reemplaza a otra antigua, más primitiva.

Totalmente mecanizada se regula por control de distancia desde un panel rector, en que figura la totalidad del esquema. Es capaz de tratar 1.000 toneladas diarias de las cuales 500 son llevadas a tratamiento catalítico que las lleva, es de 8 a 10 por 100 de octano, a un 16 por 100. Como antidetonante se emplea tetraetilo de plomo. La torre de «cracking» tiene 74 metros de altura. La instalación es de «Parsons», Los Angeles, Cal. Como catalizador se emplea silicato de alúmina a 500° y presión normal.

Trabajo solamente con los crudos de Raman.

* * *

Los viajes resultaron extremadamente interesantes, tanto de Estambul y Ankara como de Ankara a Diarbaklir y Raman.

Pude observar, de pasada, algo de la índole geológica y petrográfica del país, de su paisaje, tipos humanos, viviendas, todo ello con fantásticos contrastes. Entre los jugosos y rientes paisajes costeros, vascos o asturianos, a las estepas desérticas, una quinta esencia de nuestras mesetas en sus zonas más áridas y menos habitadas. Entre lo oriental y lo occidental. Entre el camello y el tractor. Pero esta exposición ya resulta demasiado larga para tratar estos temas, muy interesantes pero que se apartan de nuestro objetivo. Mis diarios de viajes, llenos de anotaciones, podrían nutrir aún muchas páginas.

APENDICE IV

RELACION DE TRABAJOS PRESENTADOS

Esta relación comprende la mayor parte de los trabajos presentados, ya que no todos estuvieron preparados al final para su distribución. Se ponen, gustosamente, a disposición, para consulta, de los lectores a quienes puedan interesar.

SHATA, A.: The general Geology of the Sinai Peninsula and its relationship to petroleum occurrences.

SHAZLY, E. M. EL: Recent Investigations on Egyptian Copper Deposits.

STRETTA, E. J. P.: Problèmes types de l'Hydrogéologie appliquée en Turquie.

- La formation des spécialistes en Hydrogéologie en Turquie avec la Mission d'assistance Technique de l'Unesco.

BONDEL, F.: Réserves minérales et exploitabilité des gisements minéraux.

- Organisation d'un inventaire des ressources minérales d'un pays.

SHUKRI, N. M.: The Sulphur deposits of Ras Gamsa, Red Sea Coast, Egypt.

RAVEN, TH.: Problèmes de la formation de Géologues en Syrie.

SADEK, M.: Les recherches hydrogéologiques dans le Désert Ouest Egyptien.

INGHAM, F. T.: Notes on the Mineral Resources of Cyprus.

SAFADI, CH.: Aperçu sur l'Hydrogéologie des Terrains Volcaniques de la Syrie Meridionale (Haurane).

BURDON, D. J.: Construction of Recharge Maps for use in Groundwater Survey.

NAQUIB, K. M. AL: Geology of the Kirkuk Oilfield.

GHEITH, MOHAMED A.: Classification and Review of Egyptian Iron Ore Deposits.

MAHGOUB, OSMAN HOHARRAM: Mining Legislation and its Technical Aspects.

STRETTA, DR. ETTENNE J. P.: Problèmes types de l'Hydrogéologie appliquée en Turquie.

HARRISON, E. J.: Field Conductivity determinations as an aid to Hydrogeological Surveying.

PAVLOVIC, STOJAN: Organisation de la Géologie, Formation des Géologues et Développement des Richesses Minérales.

PEKRAK, AHMET: The Main Point of the Turkish Mining Law.

- EGERAUS, DR. E. N.: Oil Possibilities and Development in Turkey.
- KLEINSORGE, H.: The Electrification Plan of Turkey, in its Relations to Geology.
- ALTINLI, DR. I. ENVER: Thoughts about educating geologists.
- DIZIOGLU, DR. MEHMET: The Development and study of a resistivity.
- ANKARA, M. T.: Method of Prospecting applicable in 2 dimensional valleys.
- ALPAN, H. S.: On the genesis and mineralization of the tungsten deposit Uludag, province of Bursa, Turkey.
- TOLUN, DR. RASIT: Uludag Tungsten Deposit.
- WIJKERSLOOTH, DR. P. DE: The morphological and optical properties of a nov Pb-Bi-Sulfosalt «Bursaite».
- ERENTÖZ, DR. CHTIT: On the Geological Mapping in Turkey.
- TERNEK, DR. ZATI: The lower miocene formations of the Adana Basin, relations thereof with the other formations, and oil possibilities therein.
- TASMAN, M.: Correlation of Adanawells by means of quantitative analysis of foraminifera.
- PEKMEZCILER, S.: A general outlook on the Turkish Lignites.
- ZAGREB, J. OGULINEC: Which is the role of Asphalts in connection with Exploration of crude oil?
- MOSTOFI, B.: Note on Basic documents on Geology of Iran.
- ABDULLA, MAHMOUD AHMED: Progress of oil prospecting in the Sudan.
- DUBERTRET, DR. H.: Etat d'avancements des documents de base au Liban.
- DESIO, A.: Underground waters and peopling of Arid semi-Arid Regions.
- KERETLI, A.: Present Status of Surveying Activities in Turkey.
- PINAR, DR. NURIYE: Les anciennes constructions dans les régions sismiques de la Turquie.
- DUBERTRET, DR. H.: Sur le role des documents de base dans l'application de la géologie.
- ERENTÖZ, DR. L.: Nouvelle observations sur le Néogène de l'Anatolie méridionale.
- BACHMANN, H. G.: Ceramic Raw Materials in West and North Turkey.
- TOLUN, DR. N. et TEN DAM, DR. A.: Stratigraphie, tectonique et possibilités d'hydrocarbures dans le sol de la Turquie.

J. M. R

Los combustibles en los EE. UU.

Si consideramos los diversos combustibles no nucleares de los Estados Unidos, se puede establecer el adjunto resumen de producción y reservas.

Petróleo.—La producción anual es de 3.200.000 millones de barriles anuales, con unas reservas de 87.000.000 millones de barriles, frente a 1.280.000.000 millones de barriles del resto del mundo.

Gas natural.—Las reservas investigadas de gas natural son del orden de ocho trillones de metros cúbicos.

Pizarras bituminosas.—Se asigna al beneficio de las pizarras descubiertas hasta la fecha, una producción de mil billones de barriles de combustibles líquidos. Solamente de los 2.500 km.² del Estado del Colorado se podrían obtener unos dos millones de barriles diarios.

Carbón.—Las reservas totales del carbón de los EE. UU. se pueden suponer del orden de 1.9 trillones de toneladas.

El yacimiento de manganeso del Gabón francés.

Desde hace cuatro años se está proyectando activamente la industrialización de los ricos yacimientos de bióxido de manganeso de Franceville, a los que se les asignan unas reservas de 150 millones de toneladas. Estos yacimientos, que sólo son aventajados por los de la U. R. S. S., son de fácil laboreo a cielo abierto y de beneficio muy económico. El capital a invertir será de 25.000 millones de francos franceses y la producción en los primeros años se espera alcance 600.000 toneladas anuales.

Central núcleo-eléctrica.

La primera central núcleo-eléctrica en escala industrial, se inauguró el pasado 17 de octubre en Calder Hall (Reino Unido), con una posible producción de 300 megavatios.

Según datos ingleses, el costo de una de estas centrales es de 120 libras el kw., más 30 libras kw. para el uranio de la carga inicial, mientras que el costo total de una central termoelectrónica clásica es de 55 libras el kw.

La central mencionada consta de dos reactores que accionan cuatro turbinas.

La Comunidad Europea de Energía Atómica.

Al entrar este número en prensa, se habla incesantemente de la «Euratom», la cual tendrá como puntos esenciales los cinco siguientes:

1.º El desarrollo en común de las investigaciones nucleares, así como la difusión de los conocimientos técnicos entre los países asociados.

2.º Estudio y coordinación de las normas de seguridad, tanto desde el punto de vista del productor como de la población.

3.º Formación de grandes empresas comunes, que tendrá encomendadas las actividades que no puedan ser realizadas aisladamente por los establecimientos industriales de los países asociados ni por éstos.

4.º Garantizar la igualdad en el suministro de minerales y combustibles nucleares.

5.º Libertad para la circulación, tanto de especialistas en materias nucleares como del instrumental y material correspondiente

El reactor de prueba WTR.

Para fines de 1957 se espera poner en marcha un reactor WTR en Waltz Mill, Pensylvania, destinado a experimentos de irradiación con flujo elevado a temperaturas y presiones altas.

El reactor será de 20 megavattios, con un circuito de refrigeración de agua a 230°. La masa crítica del reactor es de 10 a 12 kg. de U²³⁵, la proporción metal/agua adoptada para el núcleo es de 1. Los recipientes de ensayos permiten alcanzar temperaturas de 316° y presiones de 140 kg. cm.²

Asociación de Sismología y Física del Interior de la Tierra.

Las reuniones tendrán lugar en Toronto (Canadá), del 3 al 14 de septiembre. Los temas a tratar, además de los informes nacionales, serán:

Física del interior de la Tierra:

- a) ¿Qué nos puede enseñar la gravimetría acerca de la estructura profunda del globo, debajo de la superficie de compensación?
- b) La historia geofísica de un geosinclinal.
- c) Las hipótesis de las corrientes de convección en el manto terrestre.
- d) El flujo térmico.
- e) Seísmos y corrientes de turbulencia.
- f) La plataforma continental.
- g) Interpretación físico-química del magma; estado y composición del magma; definición de la corteza y de su substrato.
- h) Geocronología y radiactividad; cartas radiogeológicas.

Sismología:

- a) Magnitud y energía de los sismos.
- b) Estructura de la corteza de los continentes y de las fosas oceánicas.
- c) Curvas de duración de trayectoria, variación de las velocidades de propagación y estructura interna del globo.

- d) Condiciones de los focos sísmicos; estudio de los planos de falla.
- e) Estudios sísmicos en el Ártico y en el Antártico durante el Año Geofísico.

Producción mundial de uranio.

Estamos en unos momentos en que tanto el laboreo de los minerales de uranio como su beneficio aumenta rápidamente, así como las reservas de uranio.

La demanda anual de uranio, metal con fines bélicos, es del orden de 15.000 toneladas; con destino a reactores productores de energía eléctrica se espera sea de unas 10.000 toneladas. Como ejemplo de consumo para centrales nucleoelectricas se puede citar la de Hunterston, que necesita cargas de 500 toneladas que duran tres años.

Los grupos principales en la producción mundial de minerales de uranio son: Estados Unidos, Canadá, Rusia con sus satélites, América del Sur, Australia y Unión Sudafricana.

La producción de minerales en los Estados Unidos es de tres millones de toneladas, de las que beneficia 2.500 toneladas de metal, procedentes principalmente de Nuevo Méjico, Utah, Colorado, Arizona, Wyoming y Washington. Con mayor producción se tiene a Canadá, que alcanza los cinco millones de toneladas de mineral y las 4.000 toneladas anuales de metal, país que espera llegar en 1958 a los 15 millones de toneladas de mineral y 12.500 de metal puro.

El laboreo de los minerales de Rusia y sus satélites es del orden de los cuatro millones de toneladas, y de su beneficio sacan unas 4.000 toneladas de metal. Sus actividades radican en cuatro grupos fundamentales: El primero corresponde a la región montañosa de Europa Oriental, donde cuenta con Checoslovaquia, Polonia, Hungría, Bulgaria y Rumanía (minas de Erzgebirge, Yablonska, etc.). El segundo corresponde a Fergliana, en la Siberia, con una producción equivalente a la mitad de la total rusa. El tercero está entre los ríos Yenesei y Lena, también en la Siberia, y el cuarto en la península de Kamchatka. La producción total durante 1958 será cercana a la del Canadá, o sea, de 12 millones de toneladas de mineral y 10.000 toneladas de uranio metal.

Entre los demás países productores destaca la Unión Sudafricana, con más de dos millones de toneladas de mineral previstas para este año; Australia, con más de un millón de toneladas, y América del Sur, con más de dos millones de toneladas anuales de mineral.

Precios de las materias primas de los reactores nucleares.

El precio del uranio natural se considera es del orden de unos 40 dólares el kilogramo y el del agua pesada de 62 dólares el kilogramo.

Fabricación de reactores nucleares en EE. UU.

Existen en Estados Unidos de Norteamérica doce compañías dedicadas a la fabricación de reactores nucleares para la exportación, con modelos comerciales que para adquirirlos es suficiente efectuar la correspondiente elección en sus catálogos. De estos los hay hasta de una potencia de 40.000 kilovatios como el modelo mayor de los fabricados por «ACF Industries». La casa que construye más modelos es la «Atom's International» con 11 diferente con potencias de 5 vatios a 25.000 kilovatios.

El que está adquirido para España es de la «General Electric Co.» de 3.000 kilovatios, con un flujo termal medio de $2,5 \times 10^{13}$ n/cm.²s., en el se utiliza como moderados el agua corriente, remo deflector el grafito, tiene un enriquecimiento del combustible del 20 por 100, una masa crítica de U-235 de 3 kilogramos, la cantidad total necesaria para la carga inicial es de 3,5 kilogramos, la frecuencia de la recarga es de 150 Mwd y el costo, según el catálogo de la casa, varía de 450.000 a 550.000 dólares, pero las informaciones de dicha entidad dan para el adquirido por España un precio de 500.000 dólares.

Producción nacional minrometalúrgica.

| M A T E R I A S | En 1956 Tm. | Variación en % respec- to a 1955 |
|--------------------------------|----------------|--|
| Mineral de hierro..... | 5.760.000 | + 21 |
| Piritas..... | 2.320.000 | + 12 |
| Potasa (K ₂ O)..... | 230.000 | + 18 |
| Plomo en barra..... | 58.750 | - 4 |
| Cinc metal..... | 22.800 | - 4 |
| Aluminio metal..... | 13.500 | + 32 |
| Cobre..... | 8.860 | - 9 |
| Azufre..... | 50.000 | + 33 |
| Abonos nitrogenados..... | 226.000 | - 3 |
| Carburo de calcio..... | 56.000 | + 18,5 |
| Superfosfatos de calcio..... | 1.575.000 | + 8,5 |
| Acido sulfúrico (100%)..... | 918.000 | - 6 |
| Carbonato sódico..... | 127.000 | + 16 |
| Sosa cáustica..... | 116.500 | + 16,5 |
| Productos petrolíferos..... | 3.890.000 | + 13 |

Los nuevos elementos einstenio y fermio.

Las continuas investigaciones de la Universidad de California (Berkeley) dieron como resultado el descubrimiento de nuevos elementos, el einstenio ($Z = 99$) y el fermio ($Z = 100$), del primero se ha obtenido el E²¹⁸ por bombardeo del Cf²¹⁰ por deuterones y los E²⁴⁹, E²⁵⁰, E²⁵¹ y E²⁵² por bombardeo del Bk²¹⁹ en un helio ionizado, también se han obtenido el E²⁵³ y E²⁵⁴.

Del segundo se conocen Fm²⁵⁰, Fm²⁵¹, Fm²⁵², Fm²⁵³, Fm²⁵⁴ y Fm²⁵⁵.

Reserva a favor del Estado para carbón en el Valle del Viar provincia de Sevilla.

Por orden del 18 de diciembre de 1956 se reserva a favor del Estado y con carácter provisional a fin de investigar la posible existencia de una cuenca carbonífera en el Valle del Viar próximo a la cuenca en explotación de Villanueva del Río, la siguiente zona:

Del vértice de la red de triangulación del Instituto Geográfico del cerro de la Encarnación, del término municipal de Villanueva del Río y Minas, con el vértice de la Masa Redonda, de Villaverde del Río; éste, con el vértice del cerro Cuchareros de Cantillana; éste, con el vértice de Marco Ortiz, de Almadén de la Plata; éste, con el vértice del cerro del Acebuchal de Cazalla de la Sierra, y, por último, éste, con el primer vértice del cerro de la Encarnación, quedando con ello cerrado el perímetro.

Notas informativas

Hoja de Villanueva de La Serena, núm. 779 (252 H). Instituto Geológico y Mincero de España. Madrid 1956.

Los autores de esta publicación I. Roso de Luna y F. Hernandez Pacheco, buenos conocedores del país, que llevan a cabo un estudio geológico general y descriptivo del territorio que enmarca dicha hoja.

Después de una revisión histórica de la bibliografía geológica existente se pasa a hacer el estudio morfológico del área de la hoja haciendo resaltar la serrata de Magacela, verdadero monte-isla, y el encajamiento de la red fluvial en la penillanura pizarroso-granítica de gran desarrollo en la que es característica fundamental el arrumbamiento hercinico de todos los materiales paleozoicos. Precisamente por estar en desacuerdo con esta orientación, al contrario que los demás aparatos de esta red fluvial, se considera que el Guadiana es el resto de la red fluvial pliocena. Se estudia con algún detalle esta hidrografía precisando su régimen torrencial y la ausencia de terrazas.

Morfológicamente en la Hoja queda representada una penillanura de edad postpontiense, el relieve residual a Magacela, que representaría el testigo de un antiguo nivel de arrasamiento intrapaleogeno, por último el gran valle del Guadiana y la «vallificación» de la red fluvial de edad cuaternaria.

Las características climatológicas se analizan con algún detalle destacando la influencia atlántica y continental y el acentuado verano, largo, ardoroso y seco.

En la Estratigrafía se reseñan los conjuntos litológicos de los que el Cámbrico pizarroso destaca por su monotonía, atribuyéndole edad potsdamiense. En el Silúrico, al estudiar la serrata de Magacela, se plantea el problema de la edad del conjunto cuarcitoso pizarroso calizo que la integra, ya que la ausencia de fósiles es aquí casi completa homologando el tramo de las cuarcitas más potentes con las de la base del Silúrico por comparación con otros de zonas próximas mejor conocidas. En las pizarras silúricas se distinguen dos conjuntos uno inferior, más monótono, y otro superior ampelítico.

Las calizas Devónicas, en realidad con areniscas, inadvertidamente se ponen pizarras, corresponden probablemente al Gediniense estando el tramo en contacto con los granitos, contacto normal, constituido por materiales metamorfizados.

En los sedimentos terciarios se distinguen los arcillosos, Miocenos, y

otros arenosos, Pliocenos, localizados ya en las proximidades del Guadiana en su confluencia con el Zujar, en cuyos valles se encuentran aluviones cuaternarios.

En la Petrografía y Litología se describen las series sedimentarias y los granitos, estableciéndose diferentes tipos de estos, a los que se atribuye el carácter intrusivo y edad hercínica. Han metamorfozados a los materiales paleozoicos existiendo en el contacto calizas-granitos «skarn» bien definidos y en otros puntos pequeñas áreas migmatíticas.

La tectónica se interpreta teniendo en cuenta las líneas directrices que ha impuesto la orogenia hercínica planteándose como problema más complejo la interpretación de la estructura de la serrata de Magacela, la cual ha sido aclarada posteriormente («Estructura tectónica y Estratigrafía de la sierra silúrica de Magacela (Badajoz)» F. Hernández Pacheco y E. Ramírez y Ramírez, Estudios Geológicos, números 29-30, tomo XII, Instituto «Lucas Mallada», C. S. I. C. Madrid, 1956).

En el capítulo de Paleontología se hace constar la ausencia de fósiles en el Cámbrico y Silúrico datándose las series litológicas por sus analogías con otras series. Únicamente en el Devónico se han encontrado restos de Braquiopodos y tallos de Crinóides, lo cual permite identificar su edad.

La hidrología de estas zonas se caracteriza por la existencia de manantiales y fuentes de poco caudal y muy irregularmente repartidas, aguas de fisuras, resaltando los alrededores de Magacela donde la presencia de masas calizas actúa como reservorio de agua que se captan en las mismas calizas y en pozos existentes en los granitos, algunos de los cuales cortan las aguas que provienen de aquellas.

En la minería se citan los dos tipos de yacimientos que aparecen con más frecuencia en la región: yacimiento de volfram de Campanario y de galena y blenda de Orellana, más algunos materiales refractarios. Las calizas Devónicas, en las que por cambios de facies existen lechos de bastante pureza, se explotan para fabricación de cales. Dominan las magnesianas, en general de composición compleja, que producen tipos de cales de índice de hidráulidad relativamente elevado por el contenido de arcilla y sílice en la roca

Las conclusiones son las siguientes:

1.^a $R_{\text{Io}}/U^{238} < 0,02$. Más del 98 por 100 del Io resultante de la desintegración del océano no puede ser retenida. Esta pérdida de Io en el agua de mar puede ser relacionada con la existencia de cantidades inesperadas de Io en los sedimentos marinos. Ambos hechos demuestran la hipótesis de la precipitación del ionio con los sedimentos.

2.^a $R_{\text{Io}}/Ra < 0,15$. El Ra está contenido en exceso por un factor 6 con relación a su equilibrio con el Io. Esto puede resultar de la redisolución de parte del radio originado del Io de los sedimentos.

3.^a La concentración media de RdTh de $4,10 \cdot 10^{-21}$ g/ml puede corresponder a una concentración en equilibrio de $2,6 \cdot 10^{-11}$ g/ml de Th²³². No obstante, en dos muestras el RdTh está muy por encima de su valor de equilibrio con el torio. Análogamente, si suponemos $Th < 6,10 \cdot 10^{-12}$ g/ml conduce a $R_{\text{Rd}}/Th < 4$. Para ello hay que suponer que el exceso de RdTh procede de un exceso de su antecesor MsTh (Ra²²⁸), aportado por una redisolución de los sedimentos. Debido al corto semiperiodo de ambos núclidos, tal como el RdTh, un exceso puede ser establecido sólo en las cercanías del fondo de la costa.

4.^a $R_{\text{RdAc}}/U^{235} < 0,1$. Más del 90 por 100 del RdAc del U²³⁵ no puede contenerse en el océano. Considerando el corto semiperiodo del RdAc, se induce que el actinio o protoactinio son precipitados en los sedimentos juntamente con el Io.

5.^a En las dos familias del U²³⁸ y Th²³², los isótopos del radio (Ra y MsTh) parecen estar en exceso con relación a sus antecesores los isótopos del torio (Io y Th). Es de gran interés la presencia en el océano de grandes cantidades de Ra (T = 1600 a.) y MsTh (T = 6,7 a.). El océano está caracterizado por concentraciones extremadamente bajas de núclidos de las tres familias radiactivas largas y por la desaparición del equilibrio radiactivo en los mismos. —L. DE A.

FILTON, G. R. y NICOLAYESEN, L. O.: *The use of monazites for age determination*. «Geochimica et Cosmochimica Acta», XI, 28-40, 1957.

Presentan los autores el estudio isotópico de cuatro muestras de monacitas de edades perfectamente conocidas procedentes de Steenkamps kraal, Goodhouse, Houtenbek y Brown Derby. Dos de las muestras tienen discrepancias importantes con las edades deducidas por técnicas isotópicas. Algunos experimentos de lavados ácidos se efectuaron con el polvo de las muestras que daban buenas correlaciones de edades. Comprobaron los autores que los valores de edades altos de U²³⁸/Pb²⁰⁶ están acompañados por una solubilidad excesiva del uranio con relación al torio y del Pb²⁰⁶ con relación al Pb²⁰⁸ en los lavados ácidos. Con la ayuda de estos datos discuten los autores las causas de las discordancias de edades. —L. F.

NICOLAYSEN, L. O.: *Solid diffusion in radioactive minerals and the measurement of age*. «Geochimica et Cosmochimica Acta», XI, 41-59, 1957.

La difusión de los nucleidos producidos radiogénicamente en un mineral pueden dar lugar a medidas de edad con valores diferentes. El autor estudia detenidamente y con gráficas esta difusión. Los minerales de U y Th tienen con frecuencia las siguientes discrepancias de edades: $Pb^{207}/Pb^{206} > Pb^{207}/Pb^{238} > Pb^{206}/U^{238}$, que pueden ser explicadas por difusión; con esta suposición y los gráficos dados en la comunicación puede deducirse la verdadera edad del mineral y el coeficiente de difusión que rige la pérdida Pb. Da como aplicación de sus teorías el estudio de varios circones y monacitas, deduciendo coeficientes de difusión de 10^{-12} cm²/seg a 10^{-23} cm²/seg.

Discute el aspecto de la masa isotópica, concentración de nucleidos descedentes y efectos de radiación y temperatura en la difusión sólida.—L. F.

QUÍMICA MINERAL

MARGUERITE PEREY y ANDRÉ HETTEL: *Dosage de l'actinium dans les minerais*. «C. R.», CCXLIII, 1520 a 22, 12 de noviembre de 1956.

El método propuesto que permite valorar el actinio X en productos diversos y particularmente minerales, consiste en separar bajo la forma de sulfato en presencia de bario el actinio X y transformarlo en carbonato y después en cloruro. Después se valora el actinio X por su depósito activo.—J. DE A.

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

| | Ptas. |
|---|-------|
| BOLETINES | |
| Boletines, cada tomo, hasta el 56 | 40 |
| Idem, id., desde el tomo 57 | 70 |
| Agotados, 1 a 25, 38, 39, 41 a 45, 48, 50, 56. | |
| NOTAS Y COMUNICACIONES | |
| Notas y Comunicaciones, números del 1 al 12, cada uno | 20 |
| Idem, id., desde el número 13, cada uno | 36 |
| Agotados números 1, 8, 10 y 13. | |
| MEMORIAS | |
| GEOFÍSICA. | |
| La Interpretación Geológica de las Mediciones Geofísicas Tomo 1.º | 240 |
| Idem, id. Tomo 2.º | 240 |
| Idem, id. Tomo 3.º | 240 |
| Idem, id. Tomo 4.º | 300 |
| Idem, id. Tomo 5.º | 150 |
| CRIADEROS DE HIERRO. | |
| Hierros de Murcia | 40 |
| Idem de Asturias | 40 |
| Idem de Guadalajara y Teruel (agotado) | 40 |
| Idem de Galicia. Tomo 2.º (1.º agotado) | 40 |
| Idem de Galicia. Tomo 3.º (dos fascículos cada uno) | 40 |
| Idem de Almería y Granada (3 volúmenes, agotados). | 65 |
| Idem de Sevilla, Jaén y Córdoba | 65 |
| VARIOS. | |
| Estudio petrográfico de la serranía de Ronda | 45 |
| Monografía de las melanopsis | 45 |

Notas bibliográficas

CRIADEROS

W. R. B. MARTIN: *Torium bearing Minerals in New Zealand*. Nature, CLXXVIII, 1476, 29 de diciembre de 1956.

En un estudio de minerales opacos en Arenas de New Zealand se han encontrado minerales de densidad media con torio, pertenecientes a la zona de Westport, los que en su mayor parte corresponden a menas de torio en arenas con esfena y allahita epidoto.

De la fracción magnética total, toma la que se hunde en bromoformo (2,8) pero que flota en yoduro de metileno (3,3) la que analizada dió 0,1 por 100 de óxido de torio. La relación en peso de esta fracción a la ilmenita contenido es de 1,7.

Las reservas son de 90 millones de toneladas de arenas, con 5 millones de toneladas de ilmenita.

Es sabido que ningún mineral es comercialmente aceptable hoy como mena de torio. —L. F.

ESTRATIGRAFIA

GONZAGUE DUBAR y RENÉ MOUTERDE: *Extension du Kimmeridgien marin dans les Aularies depuis Ribadesella jusqu'à Gijón*. «C. R.», CCXLIV, 99 a 101, 2 de enero de 1957.

La potente serie de conglomerados y areniscas, así como los esquistos arenosos conocidos anteriormente en Ribadesella se extienden hasta Gijón: el kimmeridgiense queda confirmada por el descubrimiento en Ribadesella del *Aulacostephanus* cf. *eudoxus* de Orb, y por la existencia en toda la zona de numerosas virgulas *Exogyras* DeFr, así como de dos faunas de trigonias. —L. F.

GEONUCLEONICA

GEORGE L. BATE y J. LAURENCE KULP: *Variations in the isotopic composition of common lead and the history of the crust of the earth*. Univer

sidad de Columbia. Laboratorio de Geología. «Tesis de doctorado», 1955.

En este trabajo se estudia la distribución de los minerales común y en el se efectúa una catalogación de sus datos isotópicos. A partir de ellos se establece conclusiones teóricas nuevos límites de la variación isotópicas en diversas formaciones geológicas. Proponen un modelo de diferenciación cortical. Establecen la edad de la corteza terrestre y la valoración del uranio y plomo. Consideran también el origen de la formación de la de plomo.—L. DE A.

R. K. SHELINE y J. E. HOOPER: *Probable existence of Radioactive ^{53}Mn in Iron Meteorites*, Nature, CLXXIII, 85 a 87, 12 de 1957.

Por la reacción $^{53}\text{Cr} (p, n) ^{53}\text{Mn}$ se ha logrado producir el ^{53}Mn , al que se le ha calculado un periodo de semidesintegración de 140 a., el cual, según los autores, es del orden de 1×10^6 a 2. Parece ser que por la acción de los rayos cósmicos se tiene ^{56}Fe y ^{53}Mn , al igual que se demostró la producción del tritio por el la radiación cósmica secundaria. En los sideritos el 90.9 por 100 y de el ^{56}Fe el 91.6 por 100. Blanco ideal para la producción de ^{53}Mn . Análogamente los petrolitos son muy indicados para la producción de aluminio 26 con 10^5 a. de simiperíodo. Del estudio del ^{53}Mn que está en los meteoritos en la proporción de 10^3 , así como el ^{56}Fe pueden deducir las condiciones de la radiación cósmica durante un de años. También se puede estudiar el efecto de la radiación en diversas zonas como la polar por la valoración del ^{53}Mn en ganoso terrestre.—L. DE A.

KOCZY, F. F., PICCIOTTO, E., POULARET, G. y WELGAIN, S.: *Mes isotopes du thorium dans l'eau de mer*, «Geochimica et Cosmochimica Acta», art. XI, 103-129, 1957.

Con el fin de estudiar los isotópicos del torio en la hidrosfera particular en los océanos, han preparado una técnica para valorar pendienteamente: Th^{232} , Th^{230} , Th^{228} y Th^{227} , la que fué aplicada a ocho muestras de 20 a 40 litros de agua de mar de 23,0 por 1.000 por 1.000 de salinidad, tomadas en noviembre de 1953 en el Skager Gullmarfjord (Suecia).

| | Ptas. |
|---|-------|
| Conchas bivalvas de agua dulce... | 60 |
| Memoria del Uranio ... | 30 |
| El petróleo ... | 50 |
| Cuenca del Alto Tajo. Alcala de Henares ... | 40 |
| La cordillera del Rif (dos volúmenes de texto, uno de láminas) ... | 150 |
| Reservas mundiales de pirritas (dos volúmenes) ... | 75 |
| Reservas mundiales de fosfatos (dos volúmenes) ... | 75 |
| Estudio metalogénico de la Sierra de Cartagena (agotado). | |
| Libro Jubilar (tomos I y II, cada uno) ... | 75 |
| Las nuevas ediciones del Mapa Geológico de la Península a escala 1:1.000.000 (1952 y 1955) publicadas por el Instituto Geológico y Minero de España ... | 25 |

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... .. | 20 |
| Minas de Almadén (francés) | 20 |
| Isla de Mallorca | 20 |
| Sierra de Guadarrama | 20 |
| Aranjuez | 20 |
| Asturias (sólo en francés) | 40 |
| Sierra Morena-Llanura Bética | 20 |
| Despeñaperros | 20 |
| 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 | 15 |
| Tomo 2.º (fasc. 1.º, 2.º y 3.º). Idem | 15 |
| Tomo 3.º (fasc. 1.º) | 25 |

MAPA GEOLOGICO

CARTOGRAFÍA.

| | |
|--|-----|
| Mapa Geológico de España, escala 1:1.500.000 (entelado) | 75 |
| Idem id., a 1:1.000.000 (cuatro hojas) 1955 | 250 |

| | Ptas. |
|--|-------|
| Idem íd., hojas sueltas, cada hoja | 100 |
| Idem íd., escala 1:400.000 (cada hoja) | 20 |
| Idem íd., nueva edición (cada hoja) | 30 |
| Mapa provincial de Barcelona, escala 1:200.000 | 50 |
| Idem íd. de Lérida, a 1:200.000 | 50 |
| Idem íd. de Cádiz, a 1:200.000 | 50 |
| Hojas del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 | 20 |
| Atlas estratigráfico de la cuenca hullera asturiana | 75 |
| Mapa de Guinea, escala 1:400.000 | 15 |
| Mapa Manantiales Minero-Medicinales de España, a 1:1.500.000... | 40 |
| Mapa Geológico y Minero de España, escala 1:2.500.000 (agotado). | |
| Idem íd, escala 1:1.500.000 (agotado). | |
| Idem Vulcanológico | 40 |

MEMORIAS.

| | |
|---|----|
| Explicación Mapa Geológico, tomo 1.º, escala 1:1.000.000 | 65 |
| Idem íd., 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) ... | 45 |
| Memoria provincial de Lérida | 50 |
| Memoria y Hoja provincial de Lérida, juntas | 90 |
| Memorias del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 | 18 |
| Memorias y Hoja, escala 1:50.000, juntas | 35 |
| Datos para el estudio de las hojas del Mapa Geológico 1:50.000. | |
| Gijón-Oviedo | 30 |

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.

INDICE

| | PÁGS. |
|---|-------|
| • La edad de las uraninitas de la Sierra Albarrana, por JUAN MANUEL LÓPEZ DE AZCONA | 3 |
| • Determinación espectroquímica de los elementos en pequeño porcentaje en moscovitas españolas y portuguesas, por MARÍA IVONE DE BARROS | 15 |
| • Notas sobre la Sierra de Jurés (Orense), por GREGORIO GUTIÉRREZ GONZÁLEZ | 25 |
| • Notas paleontológico-estratigráficas, por J. DE LA REVILLA y J. M.ª RÍOS | 87 |
| • Descubrimientos de huesos de Dinosaurios en el Cretáceo terminal de Cubilla (provincia de Soria), por ALBERT F. LAPPARENT, INDALECIO QUINTERO y EMILIO TRIGUEROS | 59 |
| • Notas mineralográficas (II), por ANTONIO DUE ROJO, S. I. | 65 |
| • Cronología de las orogénesis y naturaleza de la escala de los tiempos geológicos, por EDMUND M. SPIEKER | 87 |
| • Investigaciones bioestratigráficas en el Jurásico, al sur de la Sierra de la Demanda (N. de España), por GERD WESTERMANN ... | 179 |
| • El concepto de oroclinal en Geotectónica, por S. WARREN CAREY. Memoria acerca de la organización y resultados logrados en el Segundo Campamento para prácticas de Geología.—«Panticosa-1956», por JOSÉ MARÍA RÍOS | 215 |
| • Noticias | 273 |
| • Noticias | 299 |
| • Notas informativas | 330 |
| • Notas bibliográficas: | |
| Criaderos | 345 |
| Estratigrafía | 345 |
| Geonucleónica | 345 |
| Química mineral | 348 |
| • Instituto Geológico y Minero de España | 349 |