

I/16-V-1

NOTAS Y COMUNICACIONES
DEL
INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Sumario

Cronometría Radiactiva, por ANTONIO DUE ROJO, S. I.—
Pág. 3.

Sucesión estratigráfica y fósiles del Eoceno de la Zona de
Palafrugell-Esclañá-Regencós (Bajo Ampurdán, provincia
de Gerona), por J. MARCET-RIBA.—Pág. 25.

Notas sobre la enseñanza de la Cristalografía, por JORGE
DOETSCH.—Pág. 57.

El empleo de las fotografías aéreas en ciencias geológicas,
por ORIOL RIBA.—Pág. 85.

En torno a las teorías de los granitos, por LUIS C. GAR-
CÍA DE FIGUEROLA.—Pág. 127.

El período sísmico de Granada (abril-mayo 1956), por AN-
TONIO DUE ROJO, S. I.—Pág. 159.

Nota acerca de los terremotos granadinos del 19 de abril
de 1956, por MANUEL PASTOR.—Pág. 171.

Noticias.—Pág. 193.

Notas informativas.—Pág. 209.

Notas bibliográficas: Geonucleónica, pág. 221.—Química
mineral, pág. 222.

NOTAS Y COMUNICACIONES

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO

DE

ESPAÑA

NÚMERO 42

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

1956

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.

Cronometría Radiactiva

POR

ANTONIO DUE ROJO, S. I.

Director del Observatorio de Cartuja (Granada)

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

CRONOMETRIA RADIATIVA

En reseñas anteriores se hizo mención de algunos resultados del análisis radiactivo aplicado a la determinación de fechas geológicas, así como de algunas causas de error en tales cálculos; pero es tal la abundancia de trabajos publicados últimamente sobre la materia y tan notable su interés geológico, que invita a completar lo dicho con nuevas aportaciones, no pocas de ellas recentísimas, como lo indican las fechas consignadas en la bibliografía.

Los métodos llamados clásicos de cronología geológica (tiempo requerido para el enfriamiento y solidificación de los materiales planetarios, para la sedimentación o metamorfosis, para alcanzar el grado actual de salinidad de los océanos, etc.) solían presentar la común incógnita de a qué ritmo se habían verificado tales procesos, por no ser conocidas con certeza las circunstancias ambientes; por el contrario, los métodos radiactivos tienen en su abono la garantía, razonablemente demostrada, de una constancia en la desintegración nuclear, que da a los cálculos la firmeza propia de las ciencias exactas, en oposición a la que suelen tener las ciencias naturales, a más de ofrecer frecuentemente cifras muy concretas y comprendidas entre límites bien definidos; en particular, respecto del carbo-

no 14, se ha demostrado, además, con sólidos argumentos, que también ha sido constante en los tiempos pasados la aportación de este isótopo procedente del impacto de los rayos cósmicos sobre el nitrógeno atmosférico (6). Sin embargo, a pesar de los innegables triunfos recientes de tales métodos, se han suscitado contra él graves objeciones, que en sustancia se reducen al temor de que la edad de las muestras analizadas puede haber sido falseada *antes* de entrar en el laboratorio; subrayamos el adverbio porque aun los críticos más severos reconocen la eficacia y exactitud, así de los procedimientos empleados como del rigor y corrección matemática de los cálculos allí verificados. En este trabajo reseñaremos los últimos perfeccionamientos de la técnica; citaremos algunos resultados nuevos más interesantes, y aduciremos, por último, las razones opuestas a su validez, juntamente con los criterios propuestos para evitar los errores.

Técnica de laboratorio.—Como es sabido, el análisis radiactivo consiste en determinar la proporción cuantitativa de un elemento, generalmente isótopo mezclado con el normal; si se trata de un cuerpo neutro, bastará a veces para aislarlo el método químico o el espectrógrafo de masas, y si es radiactivo, midiendo su actividad por medio de contadores, que dan el número de desintegraciones por minuto y gramo (c. p. m. = *counts per minute*); uno de los problemas más difíciles y delicados de la operación es defender y aislar la muestra de la contaminación radiactiva del exterior, así por parte de la corteza terrestre como del aire y demás objetos situados en el mismo laboratorio, y por supuesto de los rayos cósmicos que vienen de arriba. En la actualidad los 350 c. p. m. que constituyen de ordinario el *fondo* radiactivo exterior se ha llegado a reducirlos a 2, gracias a pantallas apropiadas, a contadores anticoin-

cidentes y otros artificios; y en cuanto a sensibilidad, pudo afirmar Arnold, ya en 1954, que los aparatos actuales son unas diez mil veces más sensibles que los primitivos contadores Geiger.

En el proceso previo de elaboración de muestras para análisis de carbono 14, citaremos tres avances utilísimos debidos a Suess (20): 1), sustituir el gas por el carbono sólido, lo que permitió afinar las medidas, antes limitadas a tres semiperíodos (16.704 años) y extenderlas con seguridad de éxito hasta seis (33.404); 2), usar ese carbono en forma de gas acetileno, que, además de alcanzar los 38.000 años, simplifica notablemente la preparación, ya que requiere menor cantidad en las muestras, abrevia el trabajo humano de vigilancia y da mayor estabilidad en la computación absoluta, de suerte que se evita el tener que repetirla cada dos o tres semanas; y 3), utilizar el carbono en forma de parafina líquida, de la que basta una cantidad mucho menor todavía y permite pasar de los 44.000 años; por otra parte, todo el proceso de elaboración se ha logrado hoy hacerlo en vasijas herméticamente cerradas, al abrigo de toda contaminación exterior.

En la Universidad de Roma (1) se ha montado un dispositivo ingenioso de excelentes resultados, que analiza simultáneamente cuatro muestras, de dos de las cuales se desea determinar la edad; las otras dos, como puntos de referencia cronológica, son, respectivamente, una inactiva, que ha perdido prácticamente toda la reserva de carbono 14, y otra saturada, por decirlo así, que la conserva intacta, por proceder de carbón actual; la antigua allí empleada es una caliza sacaroides cristalina metamórfica, del mármol de Carrara. El contador Geiger es de cuatro elementos, cada uno situado en uno de los sectores en que está dividido un cilindro giratorio, de suerte que, sucesivamente y a tiem-

pos fijos, cada uno de ellos registra las pulsaciones provenientes de cada muestra: así se anulan los errores instrumentales y se calculan mejor las descargas de fondo comunes a todas; el área cubierta por las muestras es de unos 21 cm. en cuadro (450 cm.²) y como en otros modelos, la componente blanda de los rayos cósmicos está interceptada por una pantalla de hierro de 20 cm. de espesor; la dura o penetrante se elimina con un sistema perfeccionado de registradores anticoincidentes, que cubren todo el cilindro hasta 80 cm. de su longitud.

Las muestras *vivas* contemporáneas proporcionan el dato importante del contenido normal que ahora tienen de C 14, resultante del equilibrio estadístico entre la adquisición y pérdida del mismo, ya se trate de aire o agua, ya de organismos donde el metabolismo orgánico tiene su natural influjo; en cambio, las *muertas* o antiguas, ya inactivas, contienen teóricamente sólo carbono normal (C 12), pero dan en el registro por lo menos el fondo local, que así se elimina del cálculo estadístico, pues han sido preparadas en idénticas condiciones y con las mismas precauciones que las otras tres; para estos ejemplares neutros (*blank measurements*) se usa a veces la antracita, cuya radiactividad efectiva viene a reducirse a $0,6 \pm 0,1$ c. p. m., y se suele admitir para ellos la norma práctica de que la diferencia entre su actividad y la del fondo ha de ser menor que el doble del error típico o standard, $\sigma = \sqrt{N/t}$, siendo N el número de c. p. m. y t el tiempo de medida.

El estado presente de los métodos radiactivos de laboratorio puede compendiarse, en frase de Charles B. Hunt (uno de los críticos *severos* antes aludidos), diciendo que «sus problemas fundamentales han sido resueltos» (10).

Resultados.—Muchos centenares de muestras se han analizado recientemente a base de C 14 en numerosos la-

boratorios de Chicago (13, 14), Massachusetts (4), Michigan (22), Pennsylvania (17), Saskatchewan (2), Washington (Geological Survey) (7, 15, 19, 20, 21) y Yale (3, 7, 16); en las reseñas de cada muestra analizada se hacen constar las circunstancias de su posición *in situ*, que pueden servir para reconstruir su historia; las cifras obtenidas anteriormente en casos análogos por el mismo o por otros métodos, ya radiactivos, ya geológicos clásicos; la antigüedad calculada ahora y el margen de error probable, deducido del cálculo estadístico y de las manipulaciones verificadas al recolectarlas o al tratarlas en el laboratorio; las cifras de la edad se expresan en años, pero se hace constar que son *años de C 14*, tomando como semiperíodo 5568 ± 30 a.; de modo que si algún día se demuestra su disconformidad con los años solares, baste aplicarle una corrección numérica fija para traducir unos en otros.

No pocas series de análisis, muy numerosos para asegurar una cifra media suficientemente probable, tienen como exclusivo fin la determinación de la *constante actual* de diversas clases de materias: organismos vivos, preferentemente traídos del mismo yacimiento investigado paleontológicamente, aire de diferentes regiones, agua terrestre y marina, hielo, conchas de moluscos, carbonatos y otros sedimentos minerales, etc., en orden a su contenido de C 14; para otros análisis se han estudiado con especial interés muestras de meteoritos o de rocas muy antiguas (9).

El procedimiento Rutherford para fijar la fecha de formación del uranio se fundaba en el hecho de la actual proporción entre el uranio 238 y el 235 (139/1) y en las velocidades de degeneración respectivas, que vienen a estar en proporción de 1/7; de aquí obtuvo una fecha límite de $6-10^9$ años para el tiempo en que aquella proporción estaba a la par. Más seguro resultó el método del plomo:

tanto los dos isótopos citados del uranio como el torio 232, dan, respectivamente, lugar a los isótopos estables Pb 206, Pb 207 y Pb 208, en tanto que el más ligero Pb 204 existía probablemente desde el principio; así, la constitución del plomo primitivo fué modificándose por la producción del radiogénico y se puede deducir su antigüedad por uno de dos caminos: o determinando el límite inferior de la edad por el contenido de Pb del uranio y torio, o bien siguiendo el método de Holmes, analizando la proporción de los diversos isótopos del plomo mismo para hallar así el tiempo transcurrido *antes* de que se depositase: añadiendo luego la edad del mineral saldría la cifra global que se busca. Estudiados en gran número ejemplares distintos y de procedencia también diferente, el primer procedimiento dió cifras mínimas comprendidas entre $6 \cdot 10^7$ y $2 \cdot 10^9$, y con el segundo llegó Holmes a algo más de $3 \cdot 10^9$ años.

El análisis de los meteoritos hecho por Paneth y sus colaboradores (1942-1948), parte de un principio semejante al anterior en cuanto al proceso y las consecuencias prácticas de su contenido de plomo; además, como el uranio y el torio emiten radiaciones alfa, si se admite que todas las partículas son capturadas y que no hay otro origen de ellas, el contenido meteórico de helio permitirá deducir también el dato cronológico; así obtuvo Paneth edades comprendidas entre $6 \cdot 10^7$ y $7 \cdot 10^9$ años. Sin embargo, como observó Bauer (1947-1948) aparecía una marcada correlación entre la edad y el tamaño de las muestras: a menor volumen, mayor contenido de He.; lo que hacía sospechar un efecto de superficie y una probable acción de los rayos cósmicos, capaz ésta, contra lo admitido antes, de explicar, no ya una parte, sino todo el He. de los ejemplares pequeños; por lo cual, rehaciendo los cálculos, llegó a fijar una antigüedad común a todos ellos de $6 \cdot 10^7$ años;

acaso esta cifra corresponda a la fecha de ruptura del hipotético planeta entre Marte y Júpiter, del que procederían los fragmentos que hoy son meteoritos. Parece, pues, más sólidamente fundada la teoría y práctica del método del plomo que la del helio; aplicada aquélla más recientemente (1955) por George L. Bate, del Observatorio Geológico de Lamont, N.-Y., a muestras meteóricas comparadas con plomo moderno, se obtuvo la cifra de $4,8 \cdot 10^9 \pm 2,0 \cdot 10^8$ (como se ve, con el crecido error probable de casi un 25 por 100); también en 1955 Gerard J. Wasserburg, del Instituto de Estudios Nucleares de la Universidad de Chicago, y Richard J. Hayden, del Laboratorio Nacional de Argonne, determinaron en dos muestras de meteoritos la proporción de potasio y argón; el K 40 degenera en A 40 y Ca 40, con un semiperíodo de $1,26 \cdot 10^9$ años, cantidad del mismo orden de magnitud que la edad de los minerales más antiguos; a este análisis añadieron la comprobación a base de plomo y uranio, y las cifras, concordantes con las que dió el potasio, fueron $4,86$ y $4,70 \cdot 10^9$, respectivamente, para cada ejemplar; otra investigación del mismo tipo, hecha por el profesor Mark Ingram, de Chicago, dió una edad mínima de los meteoritos analizados de $4,50 \cdot 10^9$ años.

La diversidad de resultados y de grados de antigüedad se relaciona con el hecho de que en unos casos se trata de la fecha de formación de la corteza terrestre, en otros de la de elementos planetarios diversos y aun del mismo sistema solar. Argumentos independientes de los citados están de acuerdo con las cifras obtenidas: tales son los astronómicos a base de la marea lunar, que dan para el sistema Tierra-Luna un límite inferior de 2-4 miles de millones de años; los deducidos del tipo espectral del Sol, unos 5; de la mecánica en los enjambres de estrellas, 4-5; de los binarios estelares, menos de 10, y el más universal de

todos, de la recesión de las galaxias, calculada por el *red shift*, 6. Esta es la última cifra publicada, según la comunicación que presentó en la Asociación Americana para el Progreso de las Ciencias (1955) A. R. Sandage, de los Observatorios de M. Wilson y M. Palomar; en unión de otros astrónomos llegó a extender a 800 galaxias el material estadístico recogido por Hubble (160 galaxias) y comprobó una reducción a 150 de los 530 km./seg./megaparsec en que éste evaluaba el incremento de velocidad galáctica; con ello la edad del universo antes admitida, de $2 \cdot 10^9$ años, resultaba triplicada, coincidiendo así con los métodos radiactivos. Hoy se reconoce comúnmente, teniendo en cuenta sólo estos análisis, una antigüedad más probable de $5\text{-}6 \cdot 10^9$ años para la Tierra en general, de 3,3 para la corteza terrestre, de 2,5 para el comienzo del período arcaico, de 1,0 para el del proterozoico y de 0,5 para el paleozoico (11, 18).

Otro método de datación, sugerido primero por Goldschmidt en 1937 y en el que trabajó como primer explorador del terreno Ahrens desde 1949, se funda en la evolución del Rubidio 87 a Estroncio 87; el rubidio se compone de dos isótopos de proporción diferente: el 87 (27,2%) y el 85 (72,8%), de los que el más pesado es radiactivo beta y con un semiperíodo por lo menos de 10^{10} años, degenera en estroncio 87; éste se encuentra en el estroncio ordinario en proporción de un 7%, y, por tanto, minerales relativamente ricos en rubidio (0,1-2,0%) y escasos en estroncio ordinario (menos de 0,1-0,01%), pueden servir para datar muestras sumamente antiguas, aun del precámbrico; su primera aplicación fué hecha con lepidolita o mica de litio, y amazonita o feldespato potásico; pero se puede hacer valer asimismo para la biotita y datar de este modo el granito y la mayor parte de las rocas metamórficas. La

exactitud de este método depende de varios factores: constantes físicas, composición isotópica del Rb. y Sr., técnica analítica empleada para determinar la proporción Sr. 87/Rb. 87 y *ambiente* mineral que rodeaba a la muestra.

Los primeros análisis de Ahrens se hicieron con el espectrógrafo de emisión, técnica expuesta a errores en cuanto a la concentración absoluta; las cifras obtenidas parecían concordar bien con fechas halladas para las mismas regiones de los Estados Unidos, mediante el método del plomo, y como éste se consideraba exacto, la comprobación era satisfactoria, por más que algunas cifras resultasen demasiado altas y otras muy bajas. En estos últimos años y en numerosos laboratorios, especialmente en los de la sección de Magnetismo Terrestre, de la Institución Carnegie, se han hecho investigaciones de este género, aunque empleando el espectrómetro de masas, en cuyo filamento se colocaba primero un trozo de Sr. separado de la muestra por métodos elementales, y luego, mediante las relaciones mutuas entre los isótopos del mismo, se determinaba la concentración original, así como la isotópica del estroncio mismo; así se logró llegar a un margen de error para el cálculo de la proporción Sr. 87/Rb. 87 de sólo un 2,0 por 100, en oposición al 10-20 inherente al espectrógrafo de emisión. Las edades así obtenidas parecen, sin embargo, excesivas, y, según datos comunicados por la Carnegie, vienen a ser de 15-20 por 100 mayores que las que da el método del plomo en las mismas localidades y en circunstancias que excluyen toda ambigüedad y favorecen a las cifras del plomo; la más probable causa de incertidumbre radica probablemente en el semiperíodo asignado al Rb. 87, que, a juzgar por los trabajos publicados hasta la fecha de la reseña que estamos citando (12 a), sólo es conocida con un 25 por 100 de seguridad: se admite co-

mínmente la cifra $6,3 \cdot 10^{10}$ años; pero no es imposible que haya de reducirse a $4,9 \cdot 10^{10}$, en cuyo caso habría ya acuerdo con los resultados del método uranio/plomo. Una vez que se logre la deseada y más exacta determinación de esta constante física, el procedimiento rubidio/estroncio promete ser el más seguro y eficaz para las rocas más antiguas.

En estas mismas páginas (14, a) el Dr. López de Azcona ha dado cuenta de la técnica de valoración espectrofotométrica de la edad absoluta de las micas, aplicable al procedimiento citado, y mucho más rápida todavía que la presentada por el mismo autor al IV Coloquio Internacional de Espectroquímica de Münster en 1953 (14, b); y en una extensa Memoria (14, c) ha hecho una documentada exposición de los diversos aspectos de esta clase de investigaciones, en que el análisis espectroquímico cuantitativo por emisión constituye un instrumento de gran valor para los problemas de datación de minerales; en ella se contienen algunos resultados obtenidos por el autor, así como una relación histórica y bibliográfica de los trabajos realizados en España en este terreno hasta mayo de 1941, a los que han seguido otros, principalmente en los laboratorios de Espectroscopia del Instituto de Física «Alonso de Santa Cruz», perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y del Instituto Geológico y Minero de España, en los que se sigue trabajando activamente.

Los métodos radiactivos cronométricos han despertado, con razón, el interés científico, y en todos los países se trabaja en perfeccionar la técnica, así como en descubrir nuevos métodos que sirvan de comprobación a los citados; la copiosa colección de isótopos radiactivos conocidos hoy prometen, sin duda, mucho para el porvenir y contribuirá a hacer cada día más exactos los resultados que en un

principio eran provisionales y van adquiriendo solidez y certeza a medida que se estudian a fondo sus fundamentos.

Más abundantes son los trabajos recientes de datación mediante el C 14, de los que resumiremos algunos ejemplos interesantes: La mayor parte de las teorías sobre el origen del petróleo exigen millones de años para la fase primera o preparación de la molécula hidrocarbonada, a la que sigue la migración y acumulación en depósitos, que luego quedan aprisionados por los estratos sedimentarios; y se había afirmado que los fondos marinos no contenían hoy hidrocarburos. Paul V. Smith, de los laboratorios ESSO, con nuevas técnicas, demostró que los había en cantidad suficiente para explicar los depósitos actuales, y, además, que su espectro era muy semejante al del petróleo bruto; pero se le objetó que tales compuestos podían proceder de depósitos inferiores más antiguos. El C 14 dió la solución al probar que se trataba de formaciones recientes; queda, pues, por investigar solamente la fase posterior de la acumulación.

Es posible reconstruir cronológicamente el proceso de las glaciaciones determinando la edad de los troncos sepultados por el avance de los hielos; la dirección en que fueron derribados es, además, un dato valioso para completar el cuadro, así como sirve de comprobación averiguar por el mismo procedimiento la fecha de ciertos estratos costeros, reveladores del nivel a que se encontraba el mar en diferentes épocas, como efecto de las mismas glaciaciones; así se ha hecho en las Bermudas y delta del Mississippi; en este último lugar el nivel más bajo (83 m. menos del actual) dió más de 30.000 años; le siguen, en las Bermudas, el de -24, con 11.000; el de -21, con 9.000; de -15, 7.000, y de -8, 3.000. En la costa de California, donde las terrazas oceánicas se presentan escalonadas, la

más baja de todas, situada a 23 m. bajo la superficie presente, también reveló una antigüedad de más de 30.000. Otro método semejante es la determinación, en las conchas de los foraminíferos, de la proporción del oxígeno 16 respecto del 18, dos isótopos íntimamente relacionados con la temperatura de las aguas; Rubin y Suess comprobaron por esta vía que después de un largo período en que el mar Caribe estuvo unos 5° C más frío que ahora, hubo una subida rápida de temperatura hace unos 12.000 años.

En cuanto a las huellas de sucesivas glaciaciones en el Norte del continente americano, citaremos una de las de Winsconsin, para la que se admitía, hasta hace poco, una antigüedad de 25.000, que los análisis recientes han reducido a 11.400, acercando así en más de la mitad de lo que se creía hacia nuestros tiempos la época de los mamuts y mastodontes. Son curiosos los datos que acompañan la reseña de las muestras recogidas por el profesor L. R. Wilson, de la Universidad de Massachusetts, en los que vemos confirmado lo dicho antes sobre el modo de presentar los resultados y discutir su valor: se trata de pinos sepultados por las piedras del aluvión glacial y encontrados ahora en un yacimiento de turba; fueron derribados en dirección al Sur, algunos aplastados como por un gran peso, y el tronchado de las ramas se hizo cuando estaban verdes y vivas; los más viejos contaban unos 140 años, a juzgar por los anillos, y los últimos eran mucho más delgados, indicio de que crecieron mal en aquellos años que precedieron inmediatamente a la catástrofe final, a causa de una laguna de cieno creada por el glaciar, que en su avance obstruyó el canal de Mackinac e hizo subir el nivel del lago Michigan; las morrenas indicadoras del borde se hallan a sólo 40 km. del bosque enterrado, hacia el SW.; borde que se extiende por el S. hasta Milwaukee, y por el E. hasta

un punto situado entre Ludington y Muskegon, avanzando entre ambas localidades en forma de lengua que se prolonga más hacia el S. Se estima en unos 400 años el tiempo que empleó el glaciar en este último trecho de su recorrido, por lo que siendo 11.400 años la antigüedad del bosque, hace 11.000 que se detuvo definitivamente y empezó a derretirse; uno de estos troncos fué arrastrado por la corriente del Missouri hasta su confluencia con el Mississippi, donde hoy está la ciudad de St. Louis, y fué descubierto en 1949, formando parte de una terraza, a 15 metros por encima del nivel actual de las aguas, y formada por arena y fango del deshielo; analizado el tronco radiactivamente, el C 14 dió una antigüedad pocos siglos mayor que la del bosque de donde había venido, es decir, cuando el hielo todavía no había llegado a él; así se comprobó la relación entre dos hechos separados entre sí por varios siglos y por varios centenares de kilómetros.

La acción de las aguas del lago Michigan, que alcanzaron un nivel anormalmente alto en los años 1952-1954, descarnó las dunas de la costa oriental (con daños materiales de bastantes millones de dólares) cerca de South Haven, Michigan, y puso al descubierto 76 cm. de una capa de turba intercalada entre una inferior de 1,5 m. de arena azulada y otra superior de 7,5 m. de dunas contemporáneas, a modo de estanque allí formado, cuyo fondo aparecía sellado por un precipitado de hierro; cuatro épocas se pudieron identificar por el estudio del polen de diversas especies de coníferas principalmente: abeto de 8.000 años, pino de 6.000, pino y encina de 5.000, y un desarrollo floreciente de estas y otras especies a partir de los 4.000; lo que, unido a los datos estratigráficos, reconstruye las distintas fases de la historia climatológica de esta región.

No menos de 28 niveles u horizontes diferentes fueron señalados por Libby al analizar con C 14 los restos hallados en la cueva de Belt, en el Irán, a 80 km. de la frontera rusa, por el profesor Carleton S. Coon, del Museo de la Universidad de Pennsylvania; hacia unos 6.000 años antes de J. C. se pudieron situar cronológicamente las sucesivas generaciones que habían tenido allí su morada, desde el mesolítico hasta el neolítico: cazadores los más antiguos, luego pastores y más tarde agricultores; el primer animal doméstico de que aparecen vestigios es la cabra, a la que siguen la oveja, el cerdo y el buey. En los instrumentos de piedra afilada, equivalentes a nuestras hoces, se han podido apreciar las huellas de sílice, de la que suele haber en los tallos de las gramíneas, y el uso de estos granos se prueba, además, porque la cerámica había sido templada con salvado.

Otras fechas interesantes han sido las fijadas para la glaciación americana inmediatamente anterior a la de Mankato, correspondiente a la europea de Fenoscandia, que empezó hace 25 millares de años, tuvo su máximo entre los 20 y los 18, y una recesión oscilante de 13 a 12; las muestras analizadas abarcaron tiempos aún mayores; se distribuyeron en tres grupos: recientes, de 12 a 17; medias, de 18 a 28, y antiguas, de 31 a 40 (8). Igualmente ha sido estudiada una fase secundaria de Alaska relativamente moderna, de 1.500-2.000, según Preston (16) y Blake (2), y en los diferentes trabajos publicados sobre todas ellas se han hecho mapas donde se reconstruye en el tiempo y en el espacio los diversos avances y recesiones del glaciario norteamericano.

Crítica.—Parece justo empezar por la *autocrítica*, es decir, por la exposición de las limitaciones y posibles errores señalados y reconocidos por los mismos técnicos en el aná-

lisis radiactivo, antes de pasar a las críticas que les vienen de *fuera*.

En general, los cálculos geocronológicos están sujetos a dos clases de errores: los de laboratorio y los de campo; los primeros suelen ser los únicos consignados en las reseñas de resultados obtenidos, aunque, como hemos visto, también se atiende en ellas a los segundos. Se valoran los márgenes de error siguiendo las normas del cálculo estadístico y se tienen en cuenta las incertidumbres relativas a: 1), el factor de fondo; 2), calibración; 3), historia del contador, que influye, a veces, en su sensibilidad; 4), posible fraccionamiento del isótopo mismo durante la manipulación de las muestras, lo que altera evidentemente su proporción; 5), contaminación debida al CO₂ atmosférico, adsorbido durante ese mismo proceso, factor especialmente activo en las cercanías o en tiempos próximos a las pruebas atómicas de estos últimos años en los Estados Unidos; 6), variaciones erráticas en la intensidad de los rayos cósmicos, que falsean el valor medio comúnmente admitido, etcétera. A propósito de esta última clase de perturbación, es interesante la observación hecha por Suess (20) de que, con ocasión de calcularla, se pudo apreciar una clara periodicidad de veintisiete días, correspondiente a la componente solar. La lista, no precisamente completa, es bastante larga, y el tomar íntegra y rigurosamente en cuenta cada uno de sus elementos de corrección, supone un serio y prolijo trabajo de cálculo; no obstante, se puede asegurar que todo ello va fielmente incluido en ese término que acompaña a las cifras finales, precedido del signo \pm .

Más graves y menos identificables son los errores de campo, por la dificultad, no pocas veces insuperable, de reconstruir con certeza la larga historia y evolución de la muestra; algunos ya se reseñaron en estas páginas (NOTAS

Y COMUNICACIONES, núm. 33, págs. 64-66) y pueden resumirse en el hecho de mezclarse materiales de diferente edad, sin que haya pruebas de ello, sino a lo más conjeturas o temores: en rigor, algunas causas enumeradas para el laboratorio pudieron influir también en tiempos pasados. Cuando se trata de estos casos extremos y la antigüedad es muy grande, es frecuente limitarse por prudencia a dar sólo un límite inferior, señalando, por ejemplo, la sólida probabilidad de que supere los 30 ó 40.000 años.

Un ejemplo de esta dificultad es la que se presenta al fijar la edad de las conchas marinas (12): en las profundas fosas del Japón, Aleutinas, Perú, y también, aunque menos, junto a la costa de California, la subida a niveles superiores del agua vieja (con menor contenido de C 14) puede falsear, en varios miles de años, la edad de los moluscos recogidos en aquellas costas, perturbación que no existe en los fondos más homogéneos o en las terrazas continentales. Es cierto que el océano es un regulador radiactivo, que afecta aún a la atmósfera y a la biosfera, pero a condición de que las corrientes verticales de convección no introduzcan alteraciones como las citadas; más aún, independientemente de esta causa, parece haberse comprobado que las plantas marinas en su fotosíntesis hacen una especie de discriminación entre el carbono 14 y el 12, tomando preferentemente el más ligero de los dos, con lo que nuevamente se altera la proporción prevista por la teoría; conocidas tales anomalías, el remedio más general es la conveniente selección de muestras de muchos sitios diferentes, que anulen por su número las irregularidades locales, o si se trata de ejemplares únicos en que pueda haberlas... saber dudar.

Donald C. Carr y Laurence Kulp (5) hacen un recorrido de la diferente aptitud de las muestras, teniendo en cuen-

ta los peligros de error que en cada una suele haber: las mejores son las de madera por no tener intercambio apreciable de carbono con el medio en que se encuentran; el carbón de suyo es excelente, con tal de garantizar la ausencia de adsorción de materia orgánica extraña; lo mismo hay que decir de la turba no contaminada por raíces jóvenes; las conchas exigen un conocimiento previo, como acabamos de indicar, de la concentración de C 14 del agua ambiente; los huesos quemados son tan buenos como el carbón, pero si no la acción bacteriológica los priva de gran parte de sus compuestos carbonados, que al transformarse en otros más sencillos, sobre todo gases, se desprenden y falsean los resultados.

Charles B. Hunt (10), Director del Instituto Geológico Americano, hace una amplia recensión de las reseñas recientemente publicadas y pone de relieve, de una parte, las contradicciones desconcertantes, como son inversiones de fechas en una misma sección estratigráfica o en otras unidades igualmente relacionadas y correlativas, y discordancias semejantes entre muestras diferentes de una misma capa de terreno, e incluso cita resultados que están en oposición con argumentos locales completamente seguros, como son los anillos de los árboles; y por otra parte, reconoce las concordancias «numerosas, magníficas, excelentes...» que se obtienen respecto de otros argumentos asimismo seguros, cuáles son los históricos. De aquí concluye que la base del método radiactivo es sólida y la técnica correcta, de modo que tratándose de muestras que habían estado bien guardadas «como en un tubo de ensayo herméticamente cerrado», los resultados numéricos son irreprochables y perfectamente compatibles entre sí, como lo son las fechas de las glaciaciones arriba mencionadas, obtenidas con datos prestalagmíticos de diferentes cavernas, y las

de las tumbas egipcias: en una palabra, los procedentes de ambientes *secos*.

Por el contrario, los de ambiente *húmedo*, aunque puedan estar de acuerdo entre sí los de una misma localidad, no es raro presenten divergencias muy acentuadas respecto del dato estratigráfico o de otros indicios geológicos; a veces llega la discrepancia hasta obtenerse fechas tan distantes como 8.000 y 31.000 años en muestras geológicamente homogéneas, pero procedentes las unas de ambiente seco y las otras del húmedo, sin que se vean motivos razonables para adoptar valores medios; la única opción es dar por falsos los datos secos o los húmedos; pero en manera alguna admitir la validez de ambas series. En consecuencia, dice, se impone una revisión de criterios y una investigación más rigurosa cuando se trata de ambientes húmedos; en efecto, existe en tales casos un transporte vertical, cada vez mejor comprobado, de materia orgánica (y recuérdese aquí, por los ejemplos citados, que no es raro hallar en pocos centímetros de espesor series correspondientes a diferencias cronológicas notables, aun de muchos siglos); los microorganismos y demás fauna del subsuelo es capaz de alterar, más de lo que se hubiera creído, la proporción entre el carbono antiguo y el moderno; hay sustitución o relleno de huecos en los tejidos doscompuestos, viniendo el de otro nivel, superior o inferior, a ocupar el lugar de la materia orgánica original; influyen las variaciones de temperatura, a lo largo de tiempos tan dilatados, en la velocidad de estos procesos químicos y biológicos; a veces hay autoesterilizaciones de la acción microbiana por formarse toxinas inhibitorias de su actividad en un sitio y no en otro, aunque estén muy próximos entre sí, por ejemplo, en el fondo o en las orillas de un lago; se dan influencias desiguales de este tipo según la abundancia

o escasez de oxígeno, la acidez del medio, etc. Todos estos y otros factores, que unas veces aumentan y otras disminuyen la proporción de C 14, han de ser atentamente considerados, porque, como advierte Hunt con cierto humorismo, un trozo de carbón de una enorme antigüedad fuera de toda duda, podría *revivir* en ciertas condiciones del ambiente y todo el problema se reduciría a averiguar cuánto tiempo habría de transcurrir para convertirlo en contemporáneo.

Estas objeciones son serias y en algún caso insolubles; en otros, un examen más detenido de las circunstancias que hacen sospechosas las cifras resultantes podrá alejar el riesgo de error, y en todos se impone el estudio, que de hecho se realiza y forzosamente habrá que intensificar, de los datos puramente geológicos, no solamente como valiosos auxiliares del análisis radiactivo, sino también en forma de comprobación que puede llegar a ser indispensable.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BELLARIO, C.; BENEVENTANO, M., etc.: *Apparatus for carbon 14 dating*. «Science», v. 121, págs. 409-412, marzo 1955.
- (2) BLAKE, JR. W.: *Note on the dating of terraces in the Lake Melville district, Labrador*. «Science», v. 121, pág. 112, enero 1955.
- (3) BLAU, M.; DEEVEY, E. S., etc.: *Yale natural radiocarbon measurements. I. Pyramid Valley, New Zealand, and its problems*. «Science», v. 118, págs. 1-6, julio 1953.
- (4) BYERS, D. S. y HADLOCK, W. S.: *Carbon 14 dates from Ellsworth Falls, Maine*. «Science», v. 121, págs. 735-736, mayo 1955.
- (5) CARR, D. R. y KULP, L.: *Dating with natural radiocarbon*. «Transactions N.-Y. Academy of Sciences», ser. II, v. 16, páginas 175-181, febrero 1954.
- (6) DUE, A.: *Nota sobre la técnica del carbono 14*. «Euclides», v. XIV, págs. 393-395, diciembre 1954.
- (7) FLINT, R. F.: *Cosmic clock pinpoints the past*. «Natural History», mayo 1951.
- (8) — y RUBIN, M.: *Radiocarbon dates of Pre-Mankato events in eastern and central North America*. «Science», v. 121, págs. 649-658, mayo 1955.

- (9) HARR, D. T.: *The age of the universe*. «Scientific Monthly», v. 77, págs. 173-181, octubre 1953.
- (10) HUNT, C. B.: *Radiocarbon dating in the light of stratigraphy and weathering processes*. «Scientific Monthly», v. 81, págs. 240-247, noviembre 1955.
- (11) KUIPER, G. P.: *The earth as a planet*. Univ. Chicago Press (1954), pág. 206.
- (12) KULP, L.: *Dating with C 14*. «Journ. Chem. Educ.», v. 30, página 432, septiembre 1953.
- (12 a) — — *Isotopic dating and the geological time scale*. «Lamont Geol. Observ. Contrib.», núm. 133 (1955).
- (13) — — *The C 14 method of age determination*. «Sc. Monthly», v. 75, págs. 259-267, noviembre 1952.
- (14) LIBBY, W. F.: *Chicago radiocarbon dates V*. «Science», v. 120, págs. 733-742, noviembre 1954.
- (14 a) LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: *Valoración espectrofotométrica de la edad de las micas, con excitación por llama*. N. Y C. DEL INST. GEOL. Y MIN. ESP., núm. 35, págs. 113-116 (1954).
- (14 b) — — *El IV Coloquio Internacional de Espectroquímica*. N. Y C. DEL INST. GEOL. Y MIN. ESP., núm. 32, págs. 91-97 (1953).
- (14 c) — — *Análisis espectroquímico cuantitativo por emisión*. «Revista de la R. Acad. de C. Exact. Fis. y Nat. de Madrid», volúmenes XXXVII, cuad. III-IV, págs. 294-447; XXXVIII, c. I, págs. 55-158 y c. II, págs. 195-283 (1943-1944).
- (15) MAY, I.: *Isolation of organic carbon from bones for C 14 dating*. «Science», v. 121, págs. 508-509, abril 1955.
- (16) PRESTON, R.; PERSON, E., etc...: *Yale natural radiocarbon measurements. II*. «Science», v. 122, págs. 954-960, noviembre 1955.
- (17) RALPH, E. K.: *Univ. of Pennsylvania radiocarbon dates. I*. «Science», v. 121, pág. 149-151, febrero 1955.
- (18) RASKIN, E.: *How old is old?* «Many worlds: Seen und unseen», octubre 1954.
- (19) RUBIN, M. y SUESS, H. E.: *U. S. Geological Survey radiocarbon dates. II*. «Science», v. 121, págs. 481-488, abril 1955.
- (20) SUESS, H. E.: *U. S. Geol. Surv. radioc. dates. I*. «Science», v. 120, págs. 467-473, septiembre 1954.
- (21) — — *Natural radioc. measurements by acetylene counting*. «Science», v. 120, págs. 5-6, julio 1954.
- (22) ZUMBERGE, J. H. y POTZGER, J. E.: *Pollen profiles, radioc. dating and geologic chronology of the Lake Michigan basin*. «Science», v. 121, págs. 309-210, febrero 1955.

Sucesión estratigráfica y fósiles del Eoceno de la Zona de Palafrugell-Esclañá-Regencós (Bajo Ampurdán, provincia de Gerona)

P O R

J. MARCET-RIBA

SUCESION ESTRATIGRAFICA Y FOSILES DEL
EOCENO DE LA ZONA PALAFRUGELL-ESCLA-
ÑA-REGENCOS (Bajo Ampurdán, Prov. de Gerona)

Desde hace unos años, hemos dedicado especial atención al estudio de las formaciones eocénicas del Bajo Ampurdán, en la provincia de Gerona, encontrando en ellas muchísimos más fósiles de los que aparecen citados en los trabajos de los geólogos que recorrieron la misma.

En nuestra Nota: *Estudio estratigráfico del Eoceno de Esclañá (Bajo Ampurdán, provincia de Gerona)*, publicada en el tomo que fué editado en 1954 por la R. Sociedad Española de Historia Natural para rendir homenaje al profesor don Eduardo Hernández-Pacheco, después de su jubilación, ya dimos a conocer los resultados de nuestras primeras investigaciones en los yacimientos fosilíferos que descubrimos en los alrededores de Esclañá.

La región explorada por nosotros ha sido muy poco visitada por los geólogos, citándose solamente las clásicas calizas de *Alveolinas* y los *Nummulites*, sin precisar, sin embargo, los yacimientos de estos últimos Foraminíferos.

L. M. Vidal, en 1886, en su *Reseña geológica y minera de la provincia de Gerona*, publicada por la Comisión del Mapa Geológico de España, se limita a decir que en las excavaciones que se realizaron en Palafrugell se encontra-

ron margas azuladas, de un metro de espesor, a lo sumo, con *Alveolinas* y *Nummulites*.

M. Faura y Sans, en 1923, en su *Explicación del Mapa Geológico de Cataluña*, publicada por la Junta de Ciencias Naturales de Barcelona, cita, también, solamente, las *Alveolinas* y los *Nummulites*, sin precisar tampoco los yacimientos correspondientes, ni dar la lista de los fósiles que Compte donó a la Junta de Ciencias Naturales y a su Museo Geológico de Cataluña.

Nosotros hemos descubierto diversos yacimientos en el Eoceno de los alrededores de Palafrugell, Esclañá y Regencós, en el curso de repetidas visitas a los mismos, habiendo encontrado, además de las clásicas calizas de *Alveolinas*, muchísimos *Nummulites* y otros Foraminíferos de diminuto tamaño, y, también, numerosos otros fósiles (Coralarios, Equínidos, Moluscos y Sirénidos).

Todos estos nuevos hallazgos, junto con los fósiles que me facilitaron los señores don Fernando Carreras Colomer, de Palafrugell, y don José Perich Llendrich, de Esclañá, y que fueron donados más tarde al Museo de Geología de Barcelona, ponen en evidencia que las capas eocénicas del Bajo Ampurdán contienen, también, muchísimos fósiles, cuyo conocimiento puede contribuir a establecer exactamente la sucesión estratigráfica del Eoceno ampurdanés y la Paleontología de sus formaciones.

La lista de fósiles que daremos a conocer manifiesta claramente el notable interés paleontológico de las zonas del Bajo Ampurdán que hemos explorado.

La mayoría de los fósiles que se citan en la lista fueron recogidos y donados por el autor al Museo Municipal de Geología de Barcelona, en vista que en algunas ocasiones facilitó la visita a los yacimientos fosilíferos, por él descubiertos.

Algunas de las exploraciones se realizaron para la *Hoja de Palafrugell* del Mapa Geológico de España, a la escala de 1:50.000, siendo subvencionadas, en parte, por la Excelentísima Diputación Provincial de Gerona, que quiso colaborar al conocimiento geológico de su provincia.

Para facilitar la consulta de los fósiles que se conservan en las riquísimas colecciones paleontológicas del Museo Municipal de Geología de Barcelona, se han reunido por grupos taxonómicos, y se acompaña la numeración de los fósiles conservados.

Todos los fósiles que se citan corresponden al Luteciense y tan sólo algunos de los encontrados en las capas altas de paso al Auversense cabe referirlos a este nivel.

El P. Ruiz de Gaona, Sch. P., tuvo la amabilidad de revisar los Foraminíferos que encontré en mis excursiones paleontológicas, clasificando muchos de ellos; también debemos agradecer al Dr. J. F. de Villalta la revisión de los Moluscos y Equínidos, y la clasificación de algunos de los fósiles dudosos.

SUCESIÓN ESTRATIGRÁFICA

Las capas eocénicas del Bajo Ampurdán se presentan sumamente fracturadas en un considerable número de dovelas, en gran parte enmascaradas por las formaciones cuaternarias, que recubren como un tapiz a gran parte de la comarca.

Después de continuados estudios en las dovelas que aparecen liberadas de Cuaternario por la erosión, o en las que se abrieron canteras o terreras, hemos logrado establecer la probable sucesión estratigráfica del Eoceno del Bajo Ampurdán.

Como se comprende, esta sucesión es tan sólo aproximada, ya que en ninguna de las dovelas pueden verse todas las capas que integran el Eoceno ampurdanés.

De una manera general, hemos deducido que de abajo a arriba, la siguiente sucesión estratigráfica, que corresponde a más de 300 metros de espesor.

a-b) *Luteciense inferior*.—Lo integran calizas de *Alveolinas* (a), que a veces contienen, también, algunos *Nummulites* de pequeño tamaño, y otros Foraminíferos, todavía menores.

En ocasiones, aparecen interstratificadas capitas de color rojo-vinoso (b), que pueden aumentar de potencia, y ser atribuidas, por su aspecto y color, al Ipresiense o al Paleoceno, por otros geólogos.

La potencia de todas estas capas inferiores del Luteciense es superior a los 60 metros, a juzgar por el espesor de las capas observadas en diversas dovelas.

c-c') *Luteciense medio rojo-vinoso*.—Está constituido por las características calizas vinosas y claras de *Alveolinas*, que en ocasiones son pudinguiformes.

En las capas basales dominan las pudingas poligénicas; por lo general, son de color rojo-vinoso, no siendo raras las de color blanco. Son testimonio de la transgresión del Luteciense medio sobre el Luteciense inferior y otras formaciones geológicas anteriores, que Ashauer observó en nuestra región.

Las calizas vinosas, que se encuentran en niveles más altos, contienen a menudo granos diversamente coloreados de glauconia.

La potencia total observada es de unos 40 metros.

d) *Luteciense medio arcósico*.—Lo constituyen arcosas y calizas de naturaleza arcósica; en ocasiones, también son pudinguiformes. A menudo estas arcosas contienen nume-

rosos granos de cuarzo. En ellas pueden observarse *Alveolinas* y microfauna de diminutos Foraminíferos.

Su potencia, aproximadamente, 45 metros.

d') *Luteciense medio calizo*.—Este nivel está caracterizado por las clásicas calizas de *Alveolinas* y otros Foraminíferos de diminuto tamaño. Su microfauna es interesantísima y todavía no ha sido estudiada minuciosamente.

Las capas altas encierran gran número de fósiles y constituyen el nivel de Moluscos, por la gran abundancia de Lamelibranchios y Gasterópodos que encierran. Contienen, además, Coralaris, Equínidos e incluso Sirénidos.

A menudo estas capas presentan aspecto molásico o arcósico en los niveles superiores.

La potencia de todas estas capas es superior a la de los demás niveles, ya que alcanza unos 85 metros.

e-e') *Luteciense superior*.—Está formado por calizas bastas margosas (e') y por margas (e), en las capas inferiores.

Constituye el nivel de *Nummulites* y *Moluscos*, por lo bien representados que están los fósiles de estos grupos.

Los *Nummulites* son muy numerosos y de todos tamaños; van acompañados de otros Foraminíferos de diminuto tamaño.

La potencia de todas estas capas es de unos 70 metros.

f-f') *Auversienne*.—Las capas atribuidas a este nivel están formadas por calizas margosas azuladas (f) y las clásicas margas azuladas (f').

En los niveles bajos hemos encontrado Moluscos, en muy deficiente estado de conservación.

Su potencia debe ser superior a 10 metros, ya que la erosión ha reducido el espesor de este nivel a su más mínima expresión.

FÓSILES DEL EOCENO DE LA ZONA PALAFRUGELL-ESCLAÑÁ-
REGENCÓS (BAJO AMPURDÁN, PROVINCIA DE GERONA)

Museo Municipal de Geología de Barcelona

Protozoa

28913. *Alveolina elongata* d'Orb., Luteciense medio vinoso. Cerro cerca de la carretera a Regencós, kilómetro 31, Regencós.
28914. *Alveolina elongata* d'Orb. Luteciense medio vinoso. Idem.
28836. *Alveolina elongata* d'Orb. Luteciense medio vinoso. Idem. Asociada a Briozoos.
29062. *Alveolina elongata* d'Orb. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28835. *Alveolina elongata* d'Orb. Luteciense medio calizo. Idem.
28846. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orthophragmina* (*Discocyclina*) *archiaci* Schlumb. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28760. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo, Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28775. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio arcósico. Canterita cerca del cruce del camino de Palafrugell a Regencós y la línea de conducción eléctrica, cerca del kilómetro 32, Esclañá.
28776. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio arcósico. Idem.
28777. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Cantera en el cruce del camino de Palafrugell y Regencós a Las Rajolarías, cerca del kilómetro 32, Esclañá.
28778. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Idem.

28811. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Canteras del Alzinar d'en Frigolet, Esclañá.
28814. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo detrítico. Camino al Mas Magra, cerca de la Riera de Esclañá.
28815. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Cantera superior del Mas del Relotge, Esclañá.
28816. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Idem.
28833. *Alveolina elongata* Lamck., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28835. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Pecten* sp. Luteciense medio calizo. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28837. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo, Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28838. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio arcósico pasando al calizo. Canterita del camino de Palafrugell a Regencós, cruce con la conducción eléctrica, cerca de la carretera, kilómetro 32, Esclañá.
28839. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio arcósico pasando al calizo. Idem.
28840. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio arcósico pasando al calizo. Idem.
28841. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio arcósico pasando al calizo.

- Cantera del camino de Palafrugell a Regencós, cruce al camino a Las Rajolarías, cerca Km. 32 de la carretera a Regencós.
28842. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio arcósico pasando al calizo. Idem.
28843. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Idem.
28844. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Trochocyathus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Esclañá.
28845. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28904. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Cantera sobre el Mas del Relotge.
28910. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28911. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28912. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
29114. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
29111. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
29113. *Alveolina elongata* d'Orb., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.

29113. *Alveolina elongata* d'Orb., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
29110. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Orthophragmina (Discocyclina) archiaci* Schlumb. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
29112. *Alveolina elongata* d'Orb., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Echinocyamus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
29109. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
29108. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Orthophragmina (Discocyclina) archiaci* Schlumb., *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28779. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Esclañá.
28810. *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*, *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28915. *Alveolina elongata* d'Orb. y especies indeterminables. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28742. *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28893. *Alveolina elongata* d'Orb., *Nummulites lucasanus* Dfr., *N. roualti* d'Arch., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28847. *Alveolina elongata* d'Orb., *Nummulites lucasanus* Dfr., *N. globulus* Leym., *Ostrea* sp. Luteciense superior, paso al medio. Pedrera de la Riera de Esclañá.

28946. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28819. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28920. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28877. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28784. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Canterita superior, al W.-NW. del rellanito del bosque, Las Rajolarías, Esclañá.
28876. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28902. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29063. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28789. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29097. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29064. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28828. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Canterita superior del Pla de Las Rajolarías; al W.-NW. del rellanito del bosque, Esclañá.
28905. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28947. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28949. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28897. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.

28820. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28906. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28948. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28790. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28785. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Canterita superior, al W.-NW. del rellano del bosque, Las Rajolarías, Esclañá.
28821. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29098. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29065. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28786. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Las Rajolarías, Esclañá.
28791. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
29099. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28878. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28907. *Nummulites perforatus* de Mont. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28903. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28829. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Canterita superior, Las Rajolarías, Esclañá.
28908. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28879. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28822. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.

28904. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29100. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29101. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28823. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28905. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29066. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29102. *Nummulites perforatus* de Mont. var. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28880. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28787. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Canterita superior, al W.-NW. del rellano del bosque, Las Rajolarías, Esclañá.
29103. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28950. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29067. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28906. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28909. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28824. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28881. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29104. *Nummulites lucasanus* Defr. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28888. *Nummulites lucasanus* Defr., *N. roualti* d'Arch., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim.

- Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
28887. *Nummulites perforatus* de Mont. var., *N. roualti* d'Arch., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim., *N. lucasanus* Defr. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28831. *Nummulites perforatus* de Mont., *N. perforatus* de Mont. var., *N. lucasanus* Defr., *N. roualti* d'Arch., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim., *Ostrea* sp. Luteciense superior. Canterita superior de Las Rajolarías, Pla de Las Las Rajolarías, Esclañá.
28848. *Nummulites perforatus* de Mont., *N. lucasanus* Defr., *N. roualti* d'Arch., *N. globulus* Leym., *Ostrea* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28794. *Nummulites perforatus* de Mont. var., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim., *N. roualti* d'Arch., *N. lucasanus* Defr., *N. globulus* Leym., *Ostrea* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
28817. *Nummulites perforatus* de Mont., *N. perforatus* de Mont. var., *N. lucasanus* Defr., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim., *Ostrea* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28818. *Nummulites perforatus* de Mont., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim., *N. lucasanus* Defr., *Orthophragma* (*Discocyclina*) *archiaci* Schlumb., *Ostrea* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28830. *Nummulites perforatus* de Mont., *N. perforatus* de Mont. var., *N. lucasanus* Defr., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim., *N. roualti* d'Arch., *Ostrea* sp., *Lucina* sp. Luteciense superior. Canterita superior, Pla de Las Rajolarías, Esclañá.
28832. *Nummulites perforatus* de Mont., *N. perforatus* de Mont. mut. *uronensis* Heim., *N. roualti* d'Arch., *N. lucasanus* Defr., *Alveolina elongata* d'Orb., *Ostrea* sp., *Pecten* sp. Luteciense superior pasando al medio. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.

Coelenterata

28907. *Rhabdophyllia* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
 28908. *Rhabdophyllia* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
 28909. *Rhabdophyllia* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
 28910. *Rhabdophyllia* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
 28921. *Trochocyathus* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.

Echinodermata

28890. *Cidaris* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28953. *Cidaris* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28891. *Cidaris* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28892. *Cidaris* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28960. *Coelopleurus equis* Ag. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28889. *Coelopleurus equis* Ag. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28894. *Hemiaster* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28898. *Hemiaster* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 29068. *Hemiaster* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28882. *Hemiaster* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.

29069. *Hemiaster* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 29070. *Hemiaster* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.

Mollusca

28951. *Ostrea multicostrata* Desh. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28761. *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
 28895. *Ostrea* sp. Auversienne. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.
 29105. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
 28979. *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
 28926. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
 28980. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Terrera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28927. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
 28780. *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
 28924. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
 28923. *Ostrea* sp. Luteciense medio calizo. Cantera sobre el Mas del Relotge, Esclañá.
 29071. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28788. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Canterita superior, al W.-NW. del rellano del bosque, Las Rajolarías, Esclañá.
 28792. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 29106. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
 29096. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
 28899. *Ostrea* sp. Luteciense superior. Terrera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
 28834. *Ostrea multicostrata* Desh., *Alveolina elongata*

- d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28916. *Ostrea* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28922. *Ostrea* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28925. *Ostrea* sp., *Alveolina elongata* d'Orb. Luteciense medio calizo. Pedrera de la Riera de Esclañá.
28894. *Ostrea* sp., *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Auversiensense. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.
28883. *Ostrea* sp., *Alveolina elongata* d'Orb. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28793. *Ostrea* sp., *Pecten* sp., *Nummulites perforatus* de Mont., *N. lucasanus* Defr., *N. globulus* Leym. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28688. *Spondylus* cf. *blanquieri* Donc. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
22831. *Lima* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28901. *Pecten (Chlamys)* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28885. *Pecten (Chlamys)* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
29072. *Pecten (Chlamys)* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29073. *Pecten (Chlamys)* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28886. *Pecten (Chlamys)* sp. Luteciense superior. Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28981. *Mytilus* sp. Luteciense superior. Terrera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28781. *Modiola* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29091. *Pectunculus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.

29075. *Pectunculus* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29036. *Pectunculus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29044. *Pectunculus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29093. *Pectunculus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29124. *Pectunculus* sp. Luteciense medio calizo. Cruce de caminos de Palafrugell a Regencós y a Las Rajolarías, Esclañá.
28928. *Cardita* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28923. *Cardita* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28958. *Cardita* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29074. *Cardita* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28743. *Crassatella* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29092. *Crassatella* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28762. *Crassatella* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29115. *Crassatella* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29116. *Crassatella* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28771. *Crassatella* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28896. *Crassatella* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28897. *Crassatella* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29080. *Chama* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28825. *Chama* sp. Auversiensense. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.
28982. *Chama* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28924. *Chama* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
22833. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.

28765. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28763. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28766. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29117. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29035. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28767. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29118. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28744. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29076. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
29119. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29120. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29077. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29037. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29038. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29039. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28911. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28912. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28917. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29040. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio

- calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28918. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29078. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29087. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Cruce de caminos a Regencós y Las Rajolarías de Esclañá.
29088. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Cruce de caminos a Regencós y Las Rajolarías de Esclañá.
28768. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28913. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28745. *Lucina (Miltha) gigantea* Desh. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29121. *Lucina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
22830. *Lucina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29042. *Lucina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29041. *Lucina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29079. *Lucina* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28764. *Lucina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29122. *Lucina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29043. *Lucina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28900. *Lucina* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29094. *Lucina* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
22829. *Cyprina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28827. *Venus* sp., *Cardita* sp. Auversienne. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.

28900. *Cytherea* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
28919. *Cytherea* sp., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29033. *Tellina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29034. *Tellina* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29081. *Tellina* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29082. *Tellina* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29083. *Solen* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28898. *Cardilia michelini* Desh. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28899. *Cardilia michelini* Desh. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28925. *Corbula gallica* Lamck. Auverssiense. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.
29084. *Fistulana chiaie* Vidal. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28956. *Fistulana chiaie* Vidal. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
29085. *Fistulana chiaie* Vidal. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28895. *Pecten* sp., *Ostrea* sp., *Solen* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28952. *Cardium* sp., *Cardita* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
- * * *
28746. *Nerita (Velates) schmideliana* Chemn. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29045. *Nerita (Velates) schmideliana* Chemn. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29089. *Nerita (Velates) schmideliana* Chemn. Luteciense medio calizo. Cruce de caminos a Regencós y a Las Rajolarías, Esclañá.

29090. *Nerita (Velates) schmideliana* Chemn. Luteciense medio calizo. Cruce de caminos a Regencós y a Las Rajolarías, Esclañá.
29107. *Nerita (Velates) schmideliana* Chemn. Luteciense superior. Loma del Camp Llarg, Las Rajolarías, Esclañá.
28959. *Solarium* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28896. *Turritella (Mesalia) sulcata* Desh. Auverssiense. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.
28926. *Turritella (Mesalia) sulcata* Desh. Auverssiense. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.
28901. *Turritella (Mesalia) sulcata* Desh., *Ovula* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
28902. *Natica* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
29048. *Cerithium giganteum* Lamck. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
29049. *Cerithium giganteum* Lamck. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
22836. *Cerithium giganteum* Lamck. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29123. *Cerithium* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28783. *Cerithium* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28747. *Cerithium* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28748. *Strombus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28769. *Terebellum* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29086. *Terebellum* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Esclañá.
29050. *Rostellaria maxima* Cl. Ros. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28903. *Rostellaria* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28750. *Cypraeovula funiculigera* Cossm. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28954. *Cypraeovula funiculigera* Cossm. Luteciense superior.

- rrior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28955. *Ovula* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28957. *Mitra* sp. Luteciense superior. Cantera grande de Las Rajolarías, Las Terreras, Esclañá.
28770. *Voluta* sp., *Coelopleurus* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
22837. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28914. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28927. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28751. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28782. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28772. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28752. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28749. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29046. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28773. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
22828. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28928. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29047. *Voluta* sp. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Frigolet, Las Rajolarías, Esclañá.
28826. *Cardilia michelini* Desh., *Turritella (Mesalia) sulcata* Desh., *Mitra* sp. Auverssiense. Canterita, Las Rajolarías, Esclañá.

Vertebrata

28774. *Halitherium (Eotherium)* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.

28929. *Halitherium (Eotherium)* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28875. *Halitherium (Eotherium)* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28978. *Halitherium (Eotherium)* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites complanatus* Lamck., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
29095. *Halitherium (Eotherium)* sp., *Alveolina elongata* d'Orb., *Miliólidos bi, tri y quinqueloculina*. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.
28874. *Halitherium (Eotherium)* sp., *Alveolina elongata* d'Orb. Luteciense medio calizo. Pedrera d'en Colomer, Esclañá.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASHAUER, H.: *Die östliche Endigung der Pyrenäen*. «Beitr. z. Geol. der west. Medit., Abh. d. Ges. d. Wiss. z. Gött., Math.-Phys. Kl.», III. Folge, H. 10; 115 págs., 4 láms., 23 figs. Berlin, 1934. (Traducido al español, en 1943, por J. M. Ríos.)
2. — und TEICHMÜLLER, R.: *Die variscische und alpidische Gebirgsbildung Katalonien*. «Beitr. z. Geol. d. west. Medit.», núm. 17; «Abh. d. Ges. d. Wiss. z. Gött., Math.-Phys. Kl.», III. Folge, H. 16; 80 págs., 7 láms., 48 figs. Berlin, 1935. (Traducido al español, en 1946, por J. M. Ríos.)
3. BATALLER, J. R.: *Assaig bibliogràfic de la geologia de Girona*. «Butll. Inst. Cat. d'Hist. Nat.», t. XXIII, págs. 36-55. Barcelona, 1923. (Catálogo de 250 fichas, hasta 1922, por orden alfabético de autores.)
4. — *Los Nummulites de Cataluña*. «Anal. de la Esc. de Per. y Sup. de Agric. de la Diput. de Barc.», t. I, págs. 15-26. Barcelona, 1941.
5. BAUZÁ, F.: *Breve reseña geológica de la provincia de Gerona*. «Bol. Com. Map. Geol. de Esp.», t. I, págs. 169-175. Madrid, 1874.
6. CALDERÓN, S.: *Los Minerales de España*. Publ. Junt. Ampl. Est. e Inv. Cient., 2 tomos; I, 1910; II, 1916. Madrid, 1910, 1916.
7. CARANDELL, J.: *El Bajo Ampurdán. Ensayo Geográfico* (Obra póstuma). «Bol. de la Univ. de Granada, año XIV, diciembre, número

- ro 71, págs. 375-424, 11 figs., 2 láms.; t. XV, núm. 74, páginas 453-557, 1943. Granada, 1942-1943.
8. CAREZ, L.: *Etude des terrains crétacés et tertiaires du Nord de l'Espagne*. «Thèse de doctorat», 209 págs., 72 figs., 9 láms. París, 1881.
 9. CARRERAS CANDI, F.: *Geografía General de Catalunya. Provincia de Girona*, per J. Botet i Sisó. 1.075 págs. Editorial Martín. Barcelona, 1909.
 10. COLOM, G.: *Notas sobre Alveolinas españolas*. «Not. y Comun. Inst. Geol. y Min. de Esp.», año 1955, núm. 39, págs. 19-37, 5 láms. Madrid, 1955.
 11. CHEVALIER, M.: *Nota préliminaire sur la géologie de la Catalogne orientale*. «Bull. Soc. Géol. Fr.», 4e. sér., t. XIV, págs. 157-178, 8 figs. París, 1914.
 12. — — *Síntesis geotectónica y fisiográfica de la Comarca de Olot y Ampurdán*. «Memoria inédita». 1925.
 13. — — *Essai sur la physiographie de la Catalogne Orientale (Régions d'Olot, Bañolas, Ampurdán). Les formes topographiques et leurs relations avec la structure géologique. Leur évolution pendant les temps quaternaires*. «Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.», vol. VI, páginas 27-51, 12 figs., 2 mapas. Barcelona, 1926.
 14. — — *El paisatge de Catalunya*. «Encicl. Catalunya. Edit. Barcino», 200 págs., 99 figs. Barcelona, 1928.
 15. — — *La Tectónica de Catalunya*. «Ciència», I, núm. 24, oct. 1928; II, núm. 27, gen. 1929; folleto de 36 págs., 19 figs., 1 mapa. Barcelona, 1929.
 16. — — *Aperçu sur la physiographie générale de la Catalogne*. «Géol. de la Méd. Occid.», vol. I, partie II, No. 2, dic., págs. 77-92, 21 figs., 6 láms. Barcelona, 1929.
 17. — — *Les Paysages Catalans: leurs aspects, leurs structure et leur évolution*. «Alb. Blanchard, édit.», vol. en 8.º, 192 págs. 110 figs. París, 1929.
 18. — — *Tectonique de la Catalogne*. «Géol. de la Méd. Occid.», vol. II, partie I, No. 3, oct. 1930. Barcelona, 1931.
 19. — — *Geología de Catalunya. Volum I. Els Temps primaris*. «Encicl. Catalunya. Edit. Barcino», Vol. XIV, 220 págs. 31 figs., 16 láms. Barcelona, 1930. Vol. II. *Els Temps secundaris*, Barcelona, 1933.
 20. CHIA, M. de: *Apuntes geológicos sobre los terrenos terciarios, medio y superior del Bajo Ampurdán*. «Revista de Gerona», t. IV, págs. 342, t. III, págs. 337. Gerona, 1879.
 21. DALLONI, M.: *Etude géologique des Pyrénées Catalanes*. «Ann. Fac. Scienc. Marseille», t. XXIV, fasc. III, 373 págs., 65 figs., 12 láminas, 1 mapa y 1 lám. de cortes. Marseille, 1930.
 22. FAURA Y SANS, M.: *Condicions estructurals del terreny en la caracterització de les comarques catalanes*. «Butll. Inst. Cat. d'Hist. Nat.», 26 págs. Barcelona, 1919.

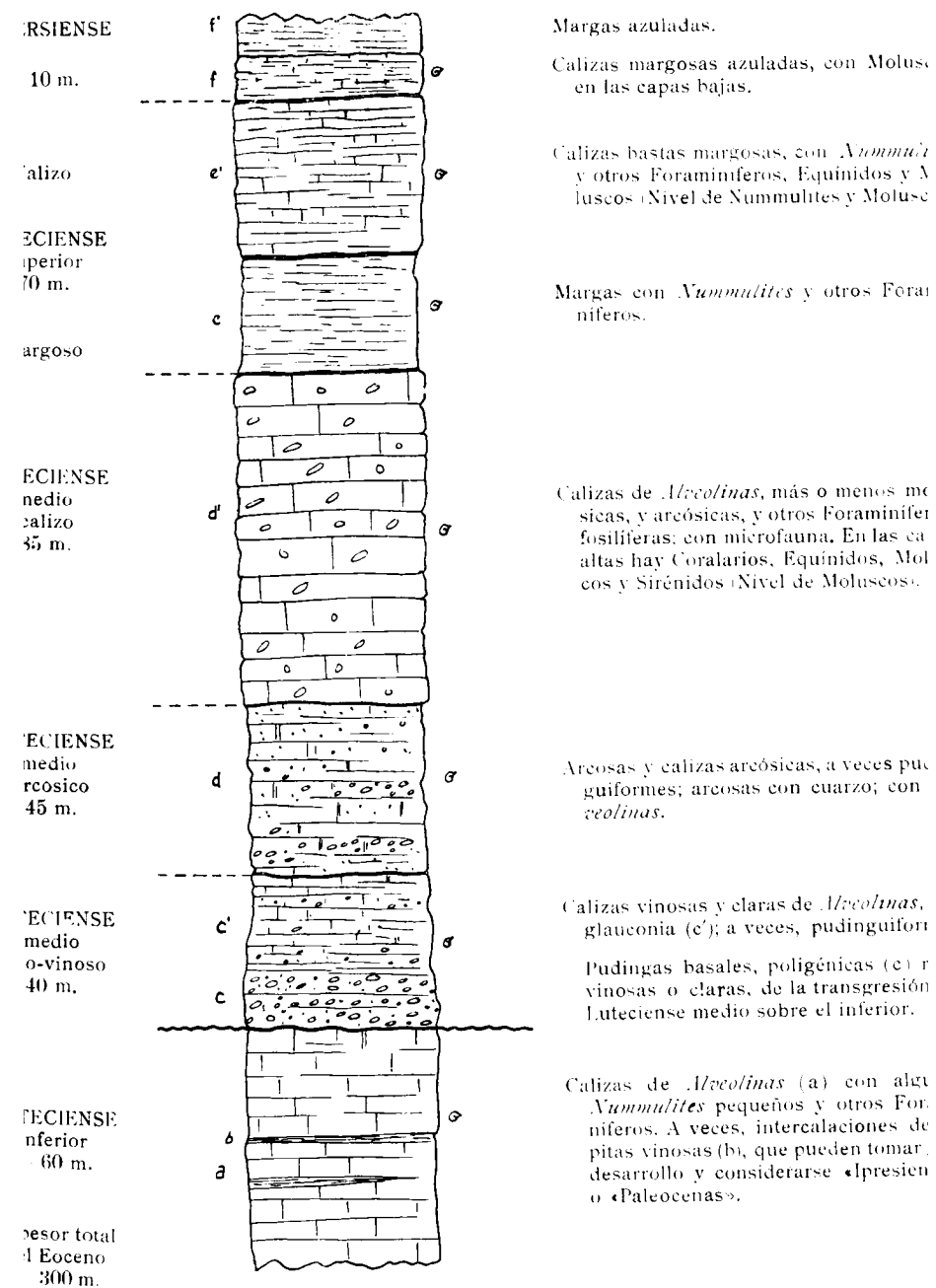
23. — — *Servei del Mapa Geològic de Catalunya. Fulla 24, Sant Feliu de Guixols*. Mapa a escala 1:100.000 i *Explicació de la Fulla*. 85 páginas, 50 figs. Barcelona, 1923.
24. — — *Memoria sobre abastecimiento de aguas potables para la villa de Palafrugell, provincia de Gerona*. En colaboración con José Mirabet y Matheu, ingeniero industrial; Eduardo Ragasol, abogado; José María Tallada, financiero; F. Sans y Buigas, abogado; S. Marcó, concejal; J. Amer, concejal, y Salvio Sendra, concejal. Fascículo de 64 págs. Palafrugell, 1925.
25. — — *Curs de Geologia dinàmica i estratigràfica aplicada a Catalunya*, per Mossèn Norbert Font i Sagué, revisat i ampliat pel Dr. M. Faura i Sans. 370 págs., 1 junio 1926. Barcelona, 1926.
26. FONT Y SAGUÉ, N.: *Determinació de les comarques naturals e històriques de Catalunya*. «Anuari dels Jochs Florals», any XXXIX, págs. 319-449, 130 págs., mapa a 1:500.000. Barcelona, 1897.
27. — — *Curs de Geologia dinàmica i estratigràfica aplicada a Catalunya*. 480 págs., 305 grabs. Barcelona, 1905. 2.ª edic. Barcelona, 1926, ampliada y revisada por el Dr. Faura i Sans. Barcelona, 1926.
28. — — *Carta Geològica de Catalunya*. Escala 1:1.350.000. En Geografía de Catalunya. Barcelona, 1908.
29. GÓMEZ LLUECA, F.: *Los Nummulitidos de España*. «Junta Ampl. Est., e Inv. Cient., Com. de Inv. Pal. y Preh.», Mem. núm. 36, Serie paleontológica, núm. 8, «Museo Nac. de Cienc. Nat.», 402 págs., 34 láms., 77 figs. Madrid, 1929.
30. HOLLISTER, J.: *Ostpyrenäen und Balearen*. «Abh. d. Ges. d. Wiss. z. Gött., Math.-Phys. Kl.», III. Folge. H. 10, «Beitr. z. Geol. west. Medit.», Berlin, 1934 (traducido al español, en 1942, por M. San Miguel de la Cámara).
31. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA: *Mapa Geológico de España*, hoja núm. 15 (Barcelona, Gerona, Lérida). Escala, 1:400.000., 3.ª edic. Madrid.
32. LLOPIS LLADÓ, N.: *Sobre la geología de l'La Garrotxa y la estructura del borde occidental del Ampurdán*. «An. Univ. Barc., Crón. Disc., Mem. y Com.», 1941-1942», págs. 213-240, 12 figs., 2 mapas, 2 láms. Barcelona, 1942.
33. — — *Contribución al conocimiento de la morfoestructura de los Catalánides*. «Tesis Doctoral». Resumen. «Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.», t. XLI, págs. 593-604. Madrid, 1943. «Cons. Sup. Inv. Cient., Secc. Geomorfología», 372 págs., 22 láms., 40 figs. Barcelona, 1947.
34. — — y MASACHS ALAVEDRA, V.: *El problema de los conglomerados del margen meridional de la depresión del Ebro*. «Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de Esp.», año 1943, núm. 11, págs. 63-108, 11 figs., 5 fot. Madrid, 1943.

35. MADDOZ, P.: *Diccionario geográfico, estadístico e histórico de España*. Madrid, 1846-1850.
36. MALLADA, J.: *Explicación del Mapa Geológico de España*. «Mem. Com. Map. Geol. Esp.», t. I-VII. Madrid, 1895-1911. Tomos I-III reimpresos en 1927.
37. MARCET RIBA, J.: *La Fisiografía o Fisionomía geográfica de Cataluña*. Folleto de 4 págs., 2 figs. «Conferencia Ateneo» de Gerona». Barcelona, 1925.
38. — — *La Fisiografía o Fisionomía geográfica de Cataluña*. Folleto de 4 págs., 2 figs. (Premio «Memorias Patxot»). 2.ª edic. Barcelona, 1937. 3.ª edic. Barcelona, 1938.
39. — — *La evolución paleogeográfica del Nordeste de España y de las Baleares*. «Mem. R. Acad. Cienc. y Art. de Bar.», 3.ª época, t. XXVIII, núm. 9. 121 págs., 2 láms. Barcelona, 1945.
40. — — *Estudio estratigráfico del Eoceno de Escalaña* (Bajo Ampurdán, Provincia de Gerona). «Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.», tomo-homenaje a E. Hernández-Pacheco. págs. 431-444. Madrid, 1954.
41. — — y SOLÉ SABARÍS, I.: *Mapa Geológico de España a escala 1:50.000*. Explicación de la Hoja núm. 334, Gerona, 1949. Idem. núm. 335, Palafrugell, en colaboración con J. Castellá. «Inst. Geol. y Min. de Esp.», con la colab. de la «Exema. Dip. Prov. de Ger.», Madrid. (En curso de publicación.)
42. MARTÍNEZ QUINTANILLA, P.: *La provincia de Gerona*. 1866.
43. MENGEL, O.: *Aperçu sur la tectonique et la sismicité des Pays Catalans*. «Comptes rendus de l'Assoc. Franç. pour l'Avanc. des Sciences, congr. de Clermont-Ferrand, 1908», 13 págs., 2 fig. Paris, 1909.
44. PLA, J.: *Guía de la Costa Brava*. «Ediciones Destino», 388 págs., mapa de la Costa Brava, a 1:1.500.000. y numerosas ilustraciones. Barcelona, 1945, y nuevas ediciones.
45. PLA CARGOL, J.: *La provincia de Gerona*. Seg. ed. ampl. 497 págs. Gerona, 1946.
46. PUJOL CAMPS, C. y ALSIUS, P.: *Nomenclátor geográfico histórico de la provincia de Gerona*. Trabajo premiado por la Asociación Literaria de Gerona en 1882. Imp. y Librería de P. Torres. Gerona, 1883.
47. RÍOS, J. M.: *Cuadro sistemático de las formaciones geológicas y de las fases de plegamiento*. «Not. y Com. Inst. Geol. y Min. Esp.», año 1944, núm. 12, 18 págs., y un cuadro. Madrid, 1944. Otra publicación, en «Publ. de la Esc. Sup. de Ing. de Minas», 50 págs., y un cuadro. Madrid, 1945.
48. — — Idem. Nueva aportación compilado por J. M.ª Ríos. «Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. Esp.», núm. 17, 54 págs. Madrid, 1947.

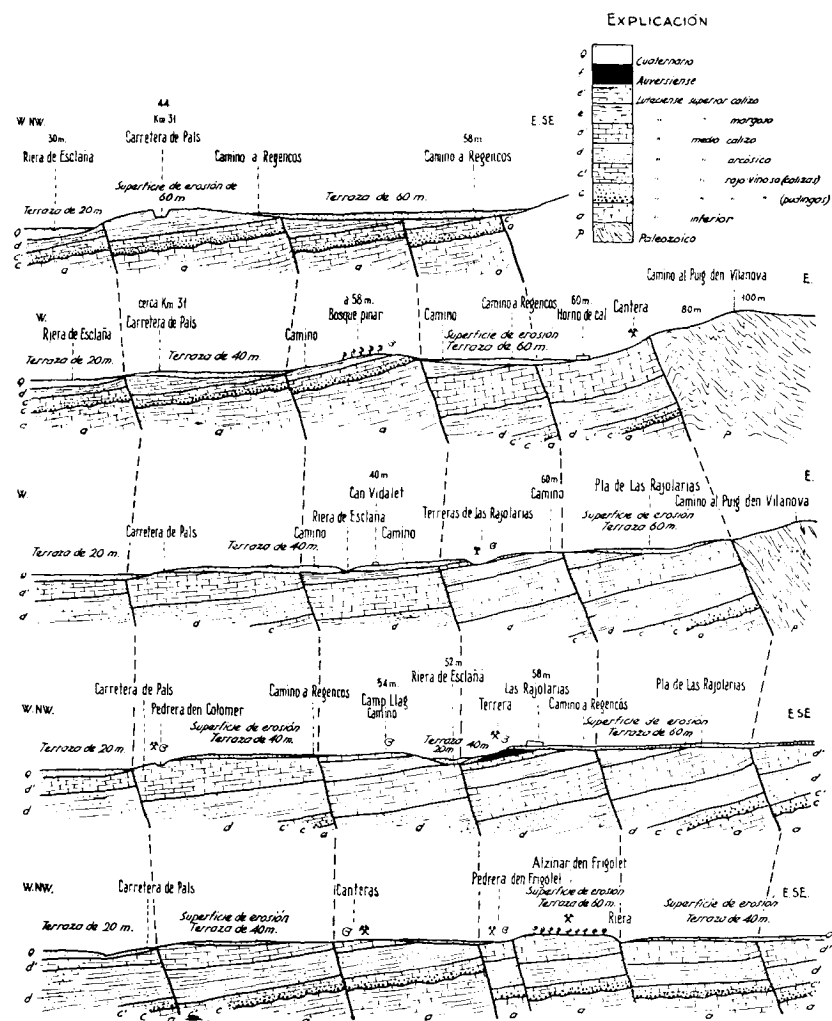
49. RUIZ DE GAONA, M.: *Resultado del estudio de las faunas de foraminíferos del Numulítico de Montserrat y regiones limítrofes* (primera parte). Inst. «Lucas Mallada», de Invest. Geol., «Estudios Geológicos», núm. 15, págs. 21-82, 5 láms. Madrid, 1952.
50. RÜHL, A.: *Geomorphologische Studien aus Katalonien*. «Zeitschr. d. Ges. für Erdk». Berlin, 1909.
51. SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, M.: *Apuntes de Geología Geognóstica y Estratigráfica*. 432 págs., 51 figs. (180 dib.). Barcelona, 1916.
52. — — *Resumen geológico geognóstico de la Sierra de Levante de la provincia de Barcelona*. «Mem. Soc. Esp. Hist. Nat.», tomo-homenaje Bolívar», t. XV, núm. 21 págs. 513-530, 4 láms., un mapa, un corte. Madrid, 1929.
53. — — *Resumen geológico y geognóstico de la Costa Brava (Gerona)*. «Asoc. Esp. Prog. Cienc.», Congr. de Lisboa, t. V, páginas 5-23, 7 láms., 1 mapa. Madrid, 1932.
54. — — Publicaciones alemanas sobre Geología de España, traducidas al español bajo la dirección del Dr. D. Maximino San Miguel de la Cámara. Introducción. I. *Nota sobre los plegamientos perimetéricos y su parte surpirenaica y baleárica*; II. *Sobre los enlaces de las cadenas de montañas del Mediterráneo occidental*; III. *La posición de las Baleares en las orogénias varisca y alpídica*; IV. *Constitución geológica de la Cadena costera catalana entre la desembocadura del Ebro y el Ampurdán*. Cons. Sup. de Inv. Cient. Inst. «José Acosta», 168 págs., muchas ilustraciones. Madrid, 1942.
55. — — Publicaciones alemanas sobre Geología de España, traducidas bajo la dirección de D. Maximino San Miguel de la Cámara. II: V. CARLOS HAHNE: *La cadena celtibérica al Este de la línea Cuenca-Teruel-Alfambra*; VI. CARLOS HAHNE: *Investigaciones estratigráficas y tectónicas en las provincias de Teruel, Castellón y Tarragona*; VII. GERMÁN SCHMIDT: *El Paleozoico en el Pirineo español*; VIII. H. ASHAUER: *La terminación oriental de los Pirineos*. Cons. Sup. de Inv. Cient., Patr. «Ramón y Cajal», Centro de Investigaciones Geol. «Lucas Mallada», 336 págs., muchas ilustraciones. Madrid, 1943-1944.
56. — — Publicaciones extranjeras sobre Geología de España, traducidas bajo la dirección de D. Maximino San Miguel de la Cámara. III: IX. HANS ASHAUER y ROLF TEICHMÜLLER: *Origen y desarrollo de las cordilleras variscas y alpídicas de Cataluña*; X. HERIBERTO KARRENBERG: *La evolución postvariscica de la cordillera cántabro-astúrica*; XI. W. VON SEIDLITZ: *La constitución geológica de España y de la región del Mediterráneo occidental*; XII. HANS ASHAUER: *Sobre el metamorfismo moderno y las series eruptivas del Pirineo oriental*; XIII. HANS RUDOLF VON GAERT-

- NER: *Fauna del silúrico superior de los Pirineos españoles*; XIV. FRANZ LOTZE: *Sobre los cambios de vergencia, con ejemplos, del Pirineo occidental*; XV. HANS STILLE: *Unilateralidad en la tectónica de tipo germánico del Noroeste de España*; XVI. ROLF TEICHMÜLLER: *Territorio tabular y plegado en el Sur de Cataluña*; XVII. FRANZ LOTZE: *Elementos estructurales dirigidos al NE. que intervienen en la constitución de los Pirineos occidentales*; XVIII. H. A. BROUWER y H. JANSEN: *Estructura de la sierra de Baza y regiones adyacentes en el Sur de España*. Cons. Sup. de Inv. Cient., Patr. «Alfonso X el Sabio», Inst. «Lucas Mallada», de Investigaciones Geológicas, 330 págs. y muchas ilustraciones. Madrid, 1946.
57. SCHRIEL, W.: *Der geologische Bau des katalonischen Küstengebietes zwischen Ebromündung und Ampurdán*. «Abh. d. Gesellschaft d. Wiss. z. Gött., Math.-Phys. Kl., Neue Folge», Bd. XIV, número 1: «Beitr. z. Geol. d. west. Medit.», núm. 2, IV, 79 págs., 11 láms., 29 figs. Berlín, 1929. Traducido al español, en 1942, por M. San Miguel de la Cámara.
58. SOLÉ SABARÍS, L.: *Fauna coralina del Eoceno catalán*. «Bol. Soc. Esp. Hist. Nat.», t. XXXIII, págs. 433-456. Madrid, 1933.
59. — — *Introducción a la Geología*. Manuales de iniciación «Apolo». Editorial Apolo, 256 págs. y figuras. Barcelona, 1938.
60. — — y LLOPIS LLADÓ, N.: *Terminación septentrional de la Cordillera costera catalana*. «Asociación para el estudio geológico del Mediterráneo occidental», t. VI; *Estudios geomorfológicos de la Península hispánica*, núm. 1, 87 págs., 22 figs., 1 lám.; esquema geotectónico de la terminación septentrional de la Cadena costera catalana, a escala 1:100.000. Barcelona, 1939.
61. — — *Fauna coralina del Eoceno catalán*. «Mem. R. Acad. Cienc. y Art. de Barc.», 3.ª época, núm. 558, vol. XXVI, núm. 9, páginas 259-440, 183 págs., 10 láms. Barcelona, 1942.
62. — — *Características hidrogeológicas de los manantiales carbónicos de Gerona, llamados «Fonts Picants»*. Cons. Sup. de Inv. Cient., Patr. de la Excm. Dipt. Prov. de Gerona. «Anales del Inst. de Est. Gerund.», 34 págs., 15 figs. Gerona, 1946.
63. — — y MARCET RIBA, J.: *Mapa geológico de España a escala de 1:50.000, Hoja núm. 334, Gerona, y Memoria explicativa*. Instituto Geol. y Min. de Esp., con la colaboración de la Excm. Diputación provincial de Gerona, núm. 119, 140 págs. y muchas ilustraciones. Madrid, 1949. Hoja núm. 335, Palafrugell. (En curso de publicación.)
64. STILLE, H.: *Grundfragen der vergleichenden Tektonik*. «Borntraeger», 443 págs., 14 figs. Berlín, 1924.
65. — — *Über westmediterrane Gebirgszusammenhänge*. «Abh. der Ges. d. Wiss. z. Gött., Math.-Phys. Kl., N. F.», 12 (3); «Beiträge z.

- Geol. d. west. Medit.», núm. 1. Berlín, 1927. IV y 62 págs. Traducido al español, en 1942, por M. San Miguel de la Cámara.
66. — — *Bemerkungen zur perimesetischen Faltung in ihrem südpyrenäische-balearischen Anteile*. Schlussbemerkungen zu H. ASHAUER und J. HOLLISTER: *Ostpyrenäen und Balearen*. «Abh. d. Ges. d. Wiss. z. Gött., Math.-Phys. Kl.», III. Folge, H. 10; «Beitr. z. Geol. west. Medit.», págs. 197-208, 1 lám. Berlín, 1924. Traducido al español, en 1942, por M. San Miguel de la Cámara.
67. TEIXIDOR, J.: *Reseña geológica de la provincia de Gerona*. «Revista de Gerona». Gerona, 1879.
68. TOMÁS, L.: *Minerals de Catalunya*. Memoria premiada en el concurso celebrado por la Inst. Cat. de Hist. Nat. Barcelona, 1909-1910.
69. — — *Els minerals de Catalunya*. «Trab. Inst. Cat. Hist. Nat.», páginas 130-358. Barcelona, 1920.
70. VIDAL, L. M.: *Datos para el conocimiento del terreno garumnense de Cataluña*. «Bol. Com. Map. Geol. Esp.», 39 págs., 8 láms. Madrid, 1874.
71. — — *Edad de las capas de «Bulimus gerundensis»*. «Mem. R. Acad. Cienc. y Art. Barc.», 2.ª época, t. I, págs. 343-359, 1 lám., 4 figs. Barcelona, 1883.
72. — — *Reseña geológica y minera de la provincia de Gerona*. «Bol. Com. Map. Geol. Esp.», t. XIII, págs. 209-380, 25 figs., 1 mapa a 1:400.000. Madrid, 1886.
73. — — *Géologie à toute vapeur de Port-Bou à Barcelone*. «Rev. des Pyrénées», t. V, 16 págs. Toulouse, 1893.
74. — — *¿Es terciario o cretácico el «Bulimus gerundensis»?* «Butll. Inst. Cat. Hist. Nat.», t. XXII, págs. 103-105. Nota póstuma. Barcelona, 1922.
75. — — *Geografía Física de Catalunya*. «Geografía General de Catalunya». Barcelona, 1909, 1912.
76. — — *La faz de la Tierra en Cataluña durante varias épocas geológicas*. «Mem. R. Acad. Cienc. y Art. de Barc.», 3.ª época, volumen XIII, núm. 55, págs. 61-74, 16 págs. Barcelona, 1916.
77. — — *Paleogeografía de Cataluña*. «Ibérica», t. X, págs. 171-176. Tortosa, 1918.



Sucesión estratigráfica del Eoceno de la zona Palafrugell-Esclañà-Regencós.



Cortes seriados del Eoceno de Esclañá (Bagur) a Regencós, normales a la carretera de Palafrugell a Regencós en una longitud de 1.750 metros.
 Longitud de los cortes: unos 1.250 m.



Fig. 1.—Esclañá; Las Rajolarías; Camp Llarg. Luteciense superior fosilífero con *Nummulites*. En primer término, las capas infrayacentes del Luteciense medio calizo de la cantera de la Riera de Esclañá.



Fig. 2.—Esclañá; Las Rajolarías; Cantera de la Riera de Esclañá. Luteciense medio calizo con *Alveolinas*. En segundo término, las capas suprayacentes del Luteciense superior con *Nummulites* del Camp Llarg.



Fig. 1.—Esclañá; Las Rajolarias; Terrera grande; al fondo, Regencós y Bagur. Luteciense superior fosilífero con *Nummulites*, Equínidos y Moluscos.



Fig. 2.—Esclañá; Cantera d'en Colomer, junto al Km. 32 de la carretera de Palafrugell a Regencós. Luteciense medio calizo con *Alveolinas*, Moluscos y Sirénidos.

Notas sobre la enseñanza de la *Cristalografía*

P O R

J O R G E D O E T S C H

JORGE DOETSCH

NOTAS SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA CRISTALOGRAFIA

Recientemente he tenido ocasión de hablar de este tema en un Congreso Internacional, y pareciéndome de interés general, he procurado presentar aquí en este trabajo las ideas que puedan interesar mayormente a los asiduos lectores de esta publicación del Instituto Geológico y Minero de España.

Largos preámbulos, que si a veces son necesarios para centrar el tema, dadas las cualidades de los lectores, huelgan en nuestro caso, y por este motivo entramos directamente en la materia del tema que hemos de desarrollar.

Dividiremos la materia en las siguientes partes :

- I. Introducción.
- II. La enseñanza.
- III. La Cristalografía.
- IV. La enseñanza de la Cristalografía.

En la Introducción trataremos de dar una breve síntesis de la historia de las ciencias, particularizando la Ciencia Cristalográfica, así como una pequeña disquisición referente a las Ciencias Naturales y a la división de éstas.

En el capítulo II referente a la enseñanza, trataremos tan sólo algunos puntos de interés primordial. En el capítulo III, la Cristalografía, hablaremos de ella y de su división, reseñando en el capítulo IV, que trata de la enseñanza de la Cris-

talografía, los principales centros de enseñanza y de investigación que existen en nuestro país.

CAPITULO PRIMERO

INTRODUCCIÓN

1.º *Breve resumen histórico.*

Tan antiguo como la misma humanidad es el deseo irrefrenable de ella, de buscar la razón o causa de los fenómenos que la Naturaleza tan pródigamente presenta al observador racional. Una disposición psicológica del hombre le inclina a conocer las causas de las cosas, mostrándose esta tendencia ya desde la misma infancia.

Sin embargo, los documentos asequibles a nosotros datan tan sólo del siglo XX a. J. C. Entre aquéllos merecen citarse el tratado «Rigveda», donde los pensadores indios expresan su preocupación sobre el origen del mundo.

No mucho más tarde los filósofos chinos exteriorizan en la «Gran Regla» contenida en el resumen histórico denominado «Schuking», sus doctrinas referentes a las ideas fundamentales relativas al Estado y a la Naturaleza.

Fué en el SE. de Europa donde siglos después se iniciaron los primeros estudios referentes a la Naturaleza en íntima relación con la filosofía. Culminaron en las grandiosas síntesis de Platón y de Aristóteles, idealística la primera y realista la segunda.

Nombres como los de Thales, Anaximandro y Anaximénes, todos ellos pertenecientes a la Escuela de Mileto y que vivieron en los siglos VII y VI a. C. son bien conocidos. El primero enseñó que la Naturaleza había salido del elemento líquido, del agua. El segundo sostenía que la materia primera, que había dado lugar a la Naturaleza, era algo indeterminado, que llamó «apeiron». El tercero mantenía que

el elemento primordial había sido el aire, que mediante condensaciones y diluciones admitía diversas formas.

Pitágoras de Samos fué quien afirmó que la esencia de la Naturaleza radicaba en el número, como expresión de la armonía del Ser. El mundo para él estaba ordenado y formaba un verdadero Cosmos.

Filolao enseñaba que la Tierra y el Sol, junto con las estrellas y la Luna, giraban alrededor de un centro constituido por un fuego universal.

Hiquetas supone que la Tierra gira alrededor de su eje y que el movimiento de las estrellas es sólo aparente.

Heráclito de Efeso mantiene que la materia primitiva que constituye el Cosmos es el fuego. Todas las cosas en este Cosmos se encuentra en una corriente perpetua «Ta panta rei». En consecuencia, deduce la imposibilidad de expresar el mundo sensible con conceptos rígidos y unívocos. Por encima de este flujo existe la Ley del Universo, que ordena este movimiento perpetuo en una gran armonía.

En oposición a esta concepción, la Escuela Eleática (Jenófanes, Parménides y Zenón) admite un Ser único y real que es la razón o la causa del Universo. Este Ser no cambia y solamente puede ser conocido y entendido por el pensamiento. Este Ser Supremo se identifica con el pensamiento y con el Universo. El mundo sensible no existe en realidad.

Una posición intermedia entre las dos señaladas adopta la Escuela más reciente de los Filósofos Naturales (Empédocles, Anaxágoras, Leucipo y Demócrito). Mantienen éstos la existencia real del mundo sensible. La sustancia es rígida. Ella no es única, sino que, por el contrario, es múltiple y constituye los elementos. Estos son los que forman las cosas sensibles. El filósofo primeramente nombrado sostiene que la mezcla de los elementos da lugar a las cosas sensibles. El segundo juzga que existen infinitos elementos cualitativamente diferentes unos de otros. El último afirma que los elementos son infinitos, inmutables e indivisibles, dándoles

el nombre de *átomos*. La diferencia entre ellos consiste sólo en variaciones accidentales de extensión, de magnitud, de forma, de posición y de orden. No existe fuerza, si se exceptúa la de la gravedad, que actúa sobre ellos, estando estos átomos en un perpetuo movimiento. Los rodea siempre el vacío.

Se habrá notado de que no hemos mencionado la sentencia de Leucipo. Fué maestro de Demócrito y no se conservan de él más que unos pequeños fragmentos

Platón considera que el mundo sensible es algo transitorio, medio entre el ser y el no ser. La razón humana rompe a través de este mundo y penetra en el mundo de las ideas, abstracto pero real, que constituyen la única verdad existente en el Universo. Esas ideas se fundan en Dios. Un demiurgo hizo el Cosmos, usando la materia eterna que tiene un alma universal.

En contraposición a Platón, Aristóteles admite la realidad del mundo sensible por estar constituido esencialmente de materia y de forma (doctrina Hylemorfística). La «*Hyle*», o sea, la «materia», es eterna y no tiene especificaciones, todas las cuales las recibe de la «*morfe*», o sea la «forma». Esta comprende también la finalidad del ser compuesto (entelequia).

La imagen del mundo inanimado en Aristóteles es simple. Existen cuatro elementos que son: la Tierra, el Agua, el Aire y el Fuego. Los cuerpos celestes (estrellas y planetas, etc.) están formados por una «quinta esencia». Los cuatro primeros elementos pueden mezclarse y pareados forman todas las cosas sensibles, incluyendo el mundo animado y las almas.

Después de la gran síntesis de Aristóteles, quedaron las cosas así durante casi 16 siglos. La figura de San Alberto Magno (Doctor Universalis) y el Sumario Filosófico Teológico de la concepción del mundo de Santo Tomás de Aquino, su discípulo, marcan el comienzo de una nueva era. San Al-

berto hizo un resumen de los conocimientos de las cosas naturales conocidos hasta entonces y admite enteramente el valor de la observación y del experimento.

Algo más de dos siglos después Agrícola escribe 11 libros referentes a Mineralogía, al Arte Minero y a la Geografía. No mucho después N. Copérnico renueva el sistema heliocéntrico, mientras que Ticho Brahe enseña un sistema mixto: Los planetas giran alrededor del Sol y esta estrella gira alrededor de la Tierra. Por último, J. Kepler defiende el sistema heliocéntrico puro y determina matemáticamente la órbita del planeta Marte. Publica las tres leyes fundamentales que gobiernan los movimientos planetarios.

J. Kepler fué el primero en publicar en 1611 un trabajo de Cristalografía, al cual le dió el título de «La nieve exagonal». En este escrito da las primeras ideas acerca de la simetría cristalina.

Pero las Ciencias Naturales, en el sentido en el cual las entendemos hoy, no comenzaron hasta que Galileo y Francisco Bacon publicaron sus trabajos y sus métodos. Para entonces el siglo XVII estaba ya casi mediado.

La Ciencia Cristalográfica apareció por primera vez como ciencia natural al ser descubiertas las leyes fundamentales: ley de la constancia de los ángulos interfaciales y ley de la racionalidad de los parámetros de los cristales.

Podríamos citar aquí muchos nombres, pero parece mejor reducir la lista a los siguientes científicos: Niels Stensen en 1669 determinó la constancia de los ángulos interfaciales de ejemplares de cuarzo cristalizado. Algunos años más tarde Guglielmini, en 1688, demostró que la misma ley se verificaba en otras especies de minerales cristalizados, y finalmente Romèe de l'Isle, en 1772, generalizando enunció la ley de la constancia de los ángulos interfaciales o ley de Steno-Romèe.

En 1669 Erasmo de Berthelsen descubrió la doble refracción de la luz que atraviesa ciertos cristales y los estu-

dios de Huygens, y posteriormente los de Fresnel acerca de la propagación de la luz visible dió base a diferentes teorías acerca de la naturaleza de la luz. (La teoría ondulatoria escalar y la teoría ondulatoria vectorial).

Torbeern Bergman en 1773 y Renée Just Haüy en 1782 hicieron diferentes suposiciones acerca de la constitución de los cristales («moléculas integrantes» de Haüy).

En el año de 1784 Haüy proclamó las leyes que regulan la simetría de los cristales, y en 1801 publicó un sumario de Cristalografía incluyendo las leyes fundamentales, o sea, la ley de Steno-Romèe y ley de la racionalidad de los parámetros.

La Cristalografía morfológica sensible, como ciencia moderna, quedaba así fundada.

Mitscherlich en 1819-1821 descubrió los fenómenos del isomorfismo y polimorfismo.

Algo después Pasteur encontró el fenómeno del enantio-morfismo del ácido tartárico y Kopp demostró que la tendencia de ciertas sustancias a formar cristales mixtos es tanto mayor cuanto sus volúmenes moleculares son más similares.

La luz polarizada, descubierta por E. L. Malus, al final del siglo XVIII, se utilizaba ya cincuenta años más tarde, comúnmente, en el microscopio polarizador. El desarrollo de la Cristalografía óptica y petrográfica había comenzado.

Nombres como los de Chr. Sam. Weiss, F. E. Neumann, F. Mohs, K. Fr. Neumann, W. H. Miller, J. F. Ch. Hessel, Kopp, L. A. Seeberg, M. L. Frankenhein, A. Bravais, L. Sohncke, P. v. Groth, Michel-Levy, Rosenbusch y tantos otros de iguales méritos, están escritos para siempre en la historia de la Cristalografía.

Fué en el año 1912 cuando v. Laue, ayudado por sus auxiliares Friedrich y Knipping, realizó su experimento famoso y difractó los rayos X utilizando un simple cristal.

Esta experiencia juzgada por sus consecuencias es el

mayor éxito obtenido en el campo de las Ciencias Naturales hasta el día de hoy si prescindimos del descubrimiento de la utilización de las fuerzas atómicas.

Desde entonces, el conocimiento de la materia cristalizada ha crecido rapidísimamente, siendo W. H. Bragg el primero que determinó la estructura de un cristal (cloruro sódico).

No podemos aquí seguir el completo desarrollo de la Cristalografía en el trabajo presente. Pero los nombres de W. L. Bragg, Debye, Scherrer, Hull, Seemann, Polyani, Darwin, Ewald, Waller, Evans y tantos otros de iguales méritos quedarán siempre en los anales de las ciencias.

2.º *Las Ciencias Naturales.*

Es cierto que la Cristalografía forma parte de las Ciencias Naturales y por esta razón ha de tener, de una forma o de otra, la misma finalidad de ellas, que consiste en el conocimiento progresivo y asintótico de la Naturaleza.

Pero al pronunciar la palabra Naturaleza, cada uno de nosotros se representa un «algo», a manera de significado, y puede ocurrir que cada uno de nosotros entienda un «algo» distinto. Por ello explicaremos qué es lo que entendemos por Naturaleza cuando hablamos de ella.

Etimológicamente, Naturaleza equivale a la voz latina «natura», coincidiendo absolutamente con la palabra griega «fysis». Posee una nota característica que consiste en la inclusión del significado de «génesis» o «ser nacido». En este sentido la Naturaleza es la propiedad peculiar de cada ser individual, que radica en su nacimiento y esencialmente incluye el principio de evolución del ser, que es la causa interna de su actividad y de su pasividad. Tenemos que admitir en este sentido que la Naturaleza añade un momento dinámico al concepto de esencia y que, en consecuencia, estos dos conceptos difieren entre sí.

Podemos dar ya una forma distinta a lo que acabamos de

decir y afirmar, que Naturaleza equivale al plan constructivo intus-existente en cada ser individual, que se muestra por la manera peculiar de estos seres de realizar acciones positivas o negativas. Las *leyes naturales* están basadas en esta significación de la palabra «Naturaleza».

Extendiendo esta acepción a todos los seres individuales, la Naturaleza significará todos los seres que poseen un principio «deveniente». Este galicismo, equivalente a la «werdende Natur» de los filósofos germanos, expresa bien la idea del principio contenido en el ser.

Este significado de Naturaleza es muy extenso y debe de ser limitado; de otra manera incluiríamos en él a Dios y caeríamos con Espinosa en el panteísmo. De ahí que sólo hablaremos en lo sucesivo de los seres espacio-temporales.

Podemos, pues, definir la Naturaleza como la totalidad de los seres espacio-temporales que poseen, además de su esencia, un principio peculiar con el que nacen, se desarrollan y adaptan a un orden.

Este orden se llama el *orden natural*.

En este preciso sentido la voluntad personificada universal y ordenadora es llamada «madre Naturaleza». Los filósofos dicen que la Naturaleza no hace cosa alguna sin finalidad, «Natura nihil facit frustra».

Una vez expuesta la extensión que le damos al contenido de la palabra Naturaleza, también sabemos la finalidad que tienen las Ciencias Naturales. No es otra cosa sino el conocimiento comprensivo y si posible exhaustivo de la Naturaleza, o sea, de todos los seres espacio-temporales provistos de un peculiar principio, con el que nacen, se desarrollan y adaptan a un orden definido.

3.º *División de las Ciencias.*

Clásica es la división de las Ciencias en Ciencias Matemáticas, Ciencias Naturales y Ciencias Culturales o del

espíritu. Nuestro problema se centra en estos momentos en la recta clasificación de las Ciencias Naturales.

Como se deduce de la división anterior, el campo u objeto material de las Ciencias Naturales es enorme, y en el deseo de hacer una división correcta debemos permitir algunas reflexiones.

En cada Ciencia consideramos dos elementos esenciales, es decir, el objeto *material* que la Ciencia pretende estudiar, y el *objeto formal*, o sea, el aspecto particular que considera dicha Ciencia en el objeto material.

También hay que tener en cuenta la distinción fundamental que nos ofrece la Naturaleza, o sea, el mundo animado y el mundo inanimado.

Las Ciencias Naturales que tratan del mundo animado, o bien, de seres espacio-temporales dotados de un principio vital, se llaman *Ciencias Biológicas*, en el sentido más amplio de la palabra griega «bios», «vida», y comprende principalmente la Biología (en sentido estricto), Botánica, Zoología, Antropología y muchas otras ciencias particulares.

Las Ciencias Naturales que tratan del mundo inanimado se llaman *Ciencias Físicas*, en el sentido más amplio de la palabra «Física». Y se dividen principalmente en Ciencias Físicas (sentido restringido), Ciencias Químicas y Astronomía. Un número extraordinariamente grande de ciencias particulares están incluidas en esta gran división. Entre ellas figura la Cristalografía.

Esta división está sometida a cambios. En la actualidad estamos asistiendo a una tendencia cada vez más acentuada, a la absorción de la Química por la Física.

Tanto en Francia como en España la división fundamental hecha en la Naturaleza a base del concepto de la vida y que nos da la división entre los mundos animado e inanimado no se realiza con la generalidad expresada en la división expuesta. En lugar de ella, se divide a las Ciencias Naturales en particulares y en generales. A este último gru-

po corresponden la Física y la Química, por tener aplicación más general. Al primer grupo pertenecen todas las demás Ciencias.

De ahí que la Cristalografía, que ocupa una posición media entre la Física y la Química, a pesar de ser una ciencia particular, no tendría más remedio que ocupar un lugar entre las ciencias generales naturales, lo cual parece poco conveniente. Por el contrario, la anterior división en Ciencias Biológicas y en Ciencias Físicas parece bastante más apropiada.

CAPITULO II

LA ENSEÑANZA

No es éste el lugar apropiado para dar una visión completa de problemas tan complejos como son los que se refieren a la enseñanza en las Escuelas Superiores. Sin embargo, vamos a tratar de algunos puntos singulares que juzgamos de gran importancia.

Tanto en España como en otros países que hemos tenido ocasión de visitar recientemente, existe un grupo más o menos nutrido de estudiantes cuya exclusiva finalidad de asistir a clases en estos Centros Superiores de Enseñanza, parece ser el de conseguir un diploma académico, que les faculte para obtener una colocación el día de mañana y les pueda servir más adelante como arma en la lucha por la vida.

Cuán alejados están del verdadero criterio y de la finalidad de los Centros de Enseñanza Superior, no es necesario mostrar. Bastará para ello recordar que el objeto de los Centros Superiores de Enseñanza es mucho más amplio de lo que pretende dicho grupo de estudiantes, ya que debe procurar dirigir la vida subsiguiente de los antiguos estudiantes, una vez que éstos hayan terminado sus estudios. En modo alguno puede limitarse esa finalidad a dar un resumen

de conocimientos teórico-prácticos que capaciten al alumno, en un mínimo de tiempo, a trabajar en la práctica, una vez conseguido el diploma anhelado. La experiencia dicta que donde sólo se valora la utilidad de la enseñanza y donde la Ciencia es utilizada exclusivamente como medio de poderío material, la cultura se resiente y decae.

Semejante a este grupo de estudiantes, existe otro que tienen aún un criterio peor. Desean ganar exclusivamente excesivas cantidades de dinero. Sólo pretenden el título académico para colmar sus deseos.

El problema vocacional conectado con la elección de una carrera, de una determinada materia de estudios, no la tienen en cuenta, pues en realidad no tienen vocación real alguna. Están totalmente polarizados y su plano de vibración se denomina ganar excesivas cantidades de dinero. Nada se podrá esperar de tal clase de hombres el día de mañana para el bien de la Ciencia y el progreso de la Humanidad.

La raíz de estos dos criterios erróneos y de otros similares se encuentra en la ausencia de una vocación real que les determine a escoger un determinado sector de las Ciencias, y que puede explicarse por la no existencia de las condiciones requeridas en los estudiantes.

La deficiente formación humanista y filosófica de los estudiantes influye notablemente en estos errores.

Los estudiantes que proceden según estos criterios, pueden ser asimilados a un material defectuoso. Estos defectos del material pueden provenir tanto del mismo material como del tratamiento a que se le ha sometido.

Así, si alguien necesitara material de características similares a las de un acero especial con el fin de fabricar un instrumento determinado y sólo le proporcionan, por ejemplo, madera de pino, patente está que no se puede fabricar dicho instrumento con este material. No reúne ni remotamente las cualidades necesarias para su construcción.

Pero si suponemos que se le facilita al fabricante un ma-

material que en sí es apropiado por poseer fundamentalmente las cualidades de un acero especial, pero que ha sufrido un tratamiento defectuoso o ninguno, habrá de ser tratado nuevamente si desea el fabricante, en verdad, hacer el instrumento.

Estos dos ejemplos pueden referirse a las dos clases de estudiantes que hemos señalado al comienzo. El primer ejemplo se aplica al segundo grupo de estudiantes. El segundo ejemplo, al primer grupo.

Como ya hemos hecho notar, este último grupo puede ser objeto de tratamiento conveniente y servir para el fin que se pretende. El primero no.

Estos dos hechos expuestos proporcionan el fundamento para introducir cada día una selección mayor en los estudiantes. Es completamente necesario seleccionar aquellos aspirantes que tienen condiciones apropiadas para el estudio de determinadas disciplinas, y luego, durante los años de estudios, facilitarles una formación adecuada. Esta no sólo consiste en desarrollar sus facultades intelectuales, sino también en sembrar en ellos el germen de la perseverancia en su vocación e inclinación.

Es también importante hacerles caer en la cuenta de la importancia de la responsabilidad, que lleva consigo el aceptar un oficio, una colocación, etc., que puedan desempeñar en el futuro.

El principal objeto de estos Centros Superiores de Enseñanza es, pues, formar una selección, una «élite» caracterizada no sólo por el volumen de conocimientos y capacidad de realización, sino también especialmente han de caracterizarse por la línea de conducta seguida en el futuro que se les ha de mostrar prácticamente durante el período de estudios, fundada en principios básicos.

El estudiante que ha cursado la enseñanza en las Escuelas Superiores ornado de una vocación real y una penetración interna, con el espíritu que anima esas Escue-

las, se considerará como un ser siempre perfectible. Conservará la cualidad de admirarse y la fuerza de voluntad de investigar lo nuevo y desconocido para él que se le pueda presentar. La verdad le hace gozar y su busca es una inclinación necesaria e irresistible. Las horas de quieta consideración no son sustituibles. El conoce y practica la verdadera sencillez fundada en la libertad de juicio entre los prejuicios y las falsas valoraciones. Es maestro en el arte de escuchar y es comprensible. Reconoce fácilmente el valor del trabajo de los demás.

Pero la expresión más exacta dada por la experiencia es la siguiente: la mejor escuela es la vida misma.

CAPÍTULO III

CRISTALOGRAFÍA

1° *Generalidades.*

He mencionado ya que la Cristalografía forma parte de las Ciencias Naturales; en consecuencia, la Ciencia Cristalográfica tiende al descubrimiento progresivo de algunos de los misterios desconocidos, contenidos en la Naturaleza. Es evidente que esta finalidad no se extiende a descubrir todos los fenómenos presentes en la Naturaleza, sino sólo aquellos que se encuentran en la materia sólida cristalizada al estudiar su génesis y propiedades morfológico-físico-químicas. El cristal consiste en una sustancia homogénea que, naturalmente, y debido a fuerzas internas, imparte una determinada distribución especial a las partículas sillares componentes esenciales de esa sustancia. Esa distribución puede llegar a ser externamente visible en formas geométricas, siempre que las condiciones necesarias y apropiadas estén presentes.

Pero en campo tan amplio como el actualmente definido, la Cristalografía ha de ser dividida en orden a un mejor estudio.

2.º *División.*

Desde un punto de vista lógico, distinguiremos en los cristales un *objeto material* y un *objeto formal*; el primero, o sea el objeto material, lo forma el mismo cristal. El segundo, u objeto formal, es el aspecto que consideramos en el cristal; por ejemplo, la forma geométrica, la propiedad física o química.

Estos tres objetos formales diferentes constituyen en la práctica las tres divisiones. Se los denomina de la siguiente manera: *la Cristalografía morfológica o geométrica*, que trata de las formas geométricas y de la distribución de las partículas constituyentes de la materia en los cristales; *la Cristalografía física*, que pretende el estudio de las propiedades físicas de los cristales, y *la Cristalografía química*, que estudia las propiedades químicas de ellos y busca la relación entre las demás propiedades de los cristales y su constitución química en el amplio sentido de estas palabras e incluye, pues, el estudio de la génesis y del desarrollo de los cristales.

De gran interés, como en las demás Ciencias límites, son las zonas de contacto entre las tres partes de la Cristalografía. La Cristalografía morfológico-física resuelve un número apreciable de problemas que no es fácil entenderlos por sí mismos, y muchos más problemas resuelve la Cristalografía físico-química.

Las partes enumeradas que constituyen la Ciencia Cristalográfica en general son ciencias individuales, ya que tienen objetos formales distintos; pero en otro sentido forman una unidad debido a tener común el objeto material que es el cristal mismo.

3.º *La importancia de la Cristalografía.*

La importancia de la Cristalografía, entendida ésta como acabamos de expresar, es grande. La materia en fase sólida es casi siempre cristalina, y así su estudio formal pertenece al campo de la Cristalografía.

Esta Ciencia nos enseña las relaciones existentes entre las propiedades externas sensitivas de la materia cristalizada con las más pequeñas partículas que la constituyen.

No podemos entrar en más detalles, dado el carácter del presente escrito, pero debemos afirmar que aún queda bastante por hacer en esta Ciencia y no nos ofrece duda que dentro de más o menos tiempo habremos adquirido conocimientos suficientes para poder regular los enlaces de esas partículas constituyentes mínimas de los cristales, y si esto es imposible, al menos regular su distribución, dentro de los retículos espaciales, mediante deformaciones o no de ellas, en manera conveniente, pretendiendo la obtención de un producto final cristalino, en cierta manera estable, dotado de cualidades requeridas por la técnica. Esto constituirá una verdadera revolución en la misma Técnica.

CAPÍTULO IV

LA ENSEÑANZA DE LA CRISTALOGRAFÍA

A) *Generalidades:*

1.º *Dificultad.*

La mayor parte de las dificultades atribuidas al estudio de la Cristalografía tiene su raíz en la facultad defectuosa de algunos estudiantes, de «ver en el espacio». Les es muy difícil imaginarse un poliedro y mucho más si dentro de este cuerpo sólido se han de realizar operaciones geométricas o de otra índole.

La dificultad que experimentan estos estudiantes cuando comienzan los estudios de la Cristalografía morfológica puede llegar a ser tan grande que los haga incapaces de proseguir este estudio. «La tercera dimensión se les indigesta.»

Aún en el caso de que esta dificultad no alcance este extremo, existe, generalmente, cierta aversión psicológica a situar las cosas en el espacio.

2.º *Solución general.*

Puestos así los términos de la dificultad se suele resolver ésta por el continuo esfuerzo realizado por los estudiantes al estudiar la geometría del espacio.

Las representaciones proyectivas de los sólidos ayuda también bastante para alcanzar una visión del espacio.

Podemos añadir aún, que si los estudiantes se dedican a construir sólidos poliedros, según métodos ya clásicos, la dificultad se desvanecerá prácticamente.

3.º *Solución particular*

Es lógico afirmar que cuanto más sensibles sean los modelos con los que trabajen los estudiantes y se les explique la morfología cristalina más racionalmente, tanto más se les hará asequible la comprensión del espacio.

Usando el deseo innato de la humanidad de inquirir las razones o las causas de los fenómenos, que se manifiesta ya desde la infancia, llegaremos a una conclusión que nos parece muy razonable y apropiada para conseguir el objeto principal de la enseñanza de la Cristalografía.

Supongamos por el momento que estamos en condiciones de hacer un «film». Los protagonistas de este film han de ser las más pequeñas partículas de la materia cristalina, o sea, átomos, iones, radicales, etc. Será necesario el representarlos mediante dibujo.

La primera película puede versar sobre alguna de las

más sencillas estructuras cristalinas, por ejemplo, la del cobre metálico o de otro elemento químico cualquiera.

La película ha de representar, partiendo de los átomos de cobre, la formación del edificio de la estructura del cobre metálico sólido, y así la película ha de interpretar el tipo de enlace, en este caso el metálico, de los átomos de cobre y representar la celda unitaria simple romboédrica, que forman estos átomos y además la celda elemental compuesta cúbica de caras centradas del cobre que envuelve a la celda unitaria o celda simple. También nos podría exponer sintéticamente la transformación matemática que relaciona los parámetros de la celda unidad con los de la celda compuesta. Nos haría ver el tipo $Fm\bar{3}m$ (notación Hermann-Mauguin), que pertenece a uno de los 230 grupos espaciales y que es propio del cobre metálico cristalizado. Además, nos podría expresar la misma película la relación que existe entre este grupo espacial y la clase de simetría cristalina, una de las 32 existentes a que pertenece el cobre metálico, haciendo referencia también al sistema regular o cúbico de simetría de los cristales. Teniendo cuidado de expresar todos los elementos de simetría presentes, los alumnos fácilmente entenderían el esquema de la génesis de los cristales.

Repitiendo esta descripción referida a especies fundamentales cristalinas que posean diferentes tipos de grupos espaciales y pertenezcan a otras clases de simetría, la imagen general de las estructuras cristalinas se haría ya fácilmente asequible a los estudiantes.

Este objeto se conseguiría quizá aún mejor si se representara en otra película la determinación de las estructuras cristalinas. Esa película haría ver el camino que han seguido los científicos cristalógrafos para conocer la arquitectura del edificio de los cristales. Lo esencial de la película consistiría en la descripción de los métodos que se usan en la obtención de diagramas de rayos X y en su interpreta-

ción. Creo que esta película ya se ha realizado por la Compañía Philips, en Holanda.

Como complemento de estas películas, en orden a obtener una imagen más completa de la materia cristalizada, se podrían realizar otras películas que traten de las deformaciones, de los efectos, de la paragénesis, del isomorfismo, del polimorfismo y de toda clase de asociaciones de los cristales. Estas películas ayudarían grandemente a entender la materia sólida cristalina.

Quisiera señalar que no consideramos las películas como el único instrumento de enseñanza de la Cristalografía. Su verdadero punto se encuentra en dar una buena orientación en esta materia. Los estudiantes, ahora y siempre, tienen que estudiar, tengan o no las películas, pero con la proyección de las películas se les hará el estudio más fácil, más profundo y más comprensivo.

B) *En España.*

1.ª *Descripción de Centros de Enseñanza.*

Actualmente poseemos doce Universidades que, nombradas alfabéticamente, son :

Barcelona.
Granada.
La Laguna (Islas Canarias).
Madrid.
Murcia.
Oviedo.
Salamanca.
Santiago.
Sevilla-Cádiz.
Valencia.
Valladolid.
Zaragoza.

En todas estas Universidades existe la sección de Ciencias Químicas, pertenecientes a la Facultad de Ciencias, mientras que la Sección de Ciencias Físicas tan sólo representada en las Universidades de Barcelona, Madrid y Zaragoza.

La Sección de Ciencias Naturales (en el sentido restringido español), se encuentra únicamente en las Universidades de Barcelona y de Madrid.

No es necesario, evidentemente, subrayar el hecho de que en cada Universidad española se enseñan Ciencias Naturales (en el sentido restringido español), y que de hecho en las mismas Universidades de Madrid y de Barcelona los estudiantes de otras Secciones de ellas, estudian estas materias en sus mismas Facultades o Secciones. Consecuentemente, en las dos Universidades de Madrid y de Barcelona existe una doble enseñanza de Ciencias Naturales, que difieren en extensión y en profundidad de enseñanza.

Además de las Universidades, existen en España las llamadas Escuelas Especiales, donde se da el diploma de Ingeniero Civil, a la que hay que añadir la Escuela de Arquitectura. Casi todas están en Madrid.

Existen nueve diferentes Escuelas de Estudios Superiores Técnicos en España : Por orden alfabético son las siguientes :

Escuela Especial de Ingenieros Agrónomos.
Escuela Superior de Arquitectura.
Escuela Especial de Ingenieros Aeronáuticos.
Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
Escuela Especial de Ingenieros Industriales.
Escuela Especial de Ingenieros de Minas.
Escuela Especial de Ingenieros de Montes.
Escuela Especial de Ingenieros Navales.
Escuela Especial de Ingenieros de Telecomunicación.

Los Ingenieros Industriales tienen también Escuelas en Barcelona y en Bilbao.

La Universidad más antigua es la de Salamanca, fundada en 1244 por el Rey Fernando III el Santo, que transfirió la Universidad que existía en Palencia, y fundada en 1208, a Salamanca. Esta Universidad era considerada como una de las cuatro Universidades más importantes de Europa, que eran la de Bolonia (Italia), la de París (Francia), y la de Oxford (Inglaterra). En ellas se cursaban los llamados «estudios generales».

La Escuela Especial más antigua es la de Ingenieros de Minas, que fué fundada en 1777 en Almadén y posteriormente trasladada a Madrid.

2.º La enseñanza.

Vamos a reseñar brevemente las características especiales de la enseñanza de la Cristalografía en España. Con este fin, recorreremos las Escuelas Secundarias, las Escuelas Especiales y las Universidades, tratando aparte los Institutos de investigación dependientes o no de alguno de estos Centros Superiores de enseñanza:

a) Los Institutos de Segunda Enseñanza

Algunos Profesores de estos Institutos han hecho una labor positiva y han publicado obras muy convenientes para iniciar a los estudiantes en el estudio de la Cristalografía morfológica, física y química. Recordemos el nombre de don Celso Arévalo, en Valencia y en Madrid.

b) En las Escuelas Especiales.

La Enseñanza en estas Escuelas Especiales tiene una tendencia marcadamente técnica, y así la Cristalografía está englobada en las Ciencias denominadas Mineralogía y Geología, según el patrón francés.

Estudios Cristalográficos Especiales, generalmente no se

realizan, excepto de los que se hacen en las Secciones de investigación, dependientes de estas Escuelas Especiales.

c) Universidades.

Como ya hemos dicho anteriormente, la enseñanza en las Universidades que tienen Facultades de Ciencias Naturales (Barcelona-Madrid) es doble. Esto quiere decir que se da una enseñanza que podemos llamar «general» en las Facultades distintas a las de Ciencias Naturales y una enseñanza «especial» en estas últimas.

Todos los estudiantes de las Facultades de Ciencias, como son los que estudian Ciencias Químicas, Ciencias Físicas, etc., y pertenecientes a las Facultades de Medicina, de Farmacia, Veterinaria, etc., tiene sus cursos propios de Geología y Mineralogía, en los que están incluidos la Cristalografía. Los alumnos han de asistir a las explicaciones y someterse a un examen para poder obtener su diploma. La naturaleza de los cursos generales de Cristalografía en las Universidades es, asimismo, general; no hay mucho detalle en estos estudios. En oposición a esto, los cursos especiales de Cristalografía pertenecientes a las Facultades de Ciencias Naturales de Barcelona y de Madrid son mucho más extensos y la materia enseñada en estas Facultades depende de la orientación de cada uno de sus Profesores.

d) Institutos de Investigación.

La mayor parte de ellos dependen de las Universidades o de las Escuelas Técnicas Superiores; solamente el Instituto Alonso de Santa Cruz (C. S. I. C.) es independiente, y la mayor parte de los otros Institutos de Investigación están en conexión con él.

Vamos a hacer a continuación una pequeña reseña de los trabajos a que se dedican estos Institutos:

a) *Institutos dependientes de las Escuelas Especiales.*

La Investigación en estos Institutos tiene una finalidad técnica, por ejemplo, la del estudio de deformación de las estructuras metálicas, etc., y generalmente están ligados a investigaciones metalográficas.

El Instituto de Investigaciones Agronómicas depende tan sólo en pequeña parte de la Escuela Especial de Ingenieros Agrónomos, a través del Patronato, y estudia los minerales del suelo (Química).

Esperamos poder dar en el futuro un mayor impulso, tanto a la Cristalografía teórica como a la práctica, que en el presente está restringido por falta de personal idóneo y restricciones económicas en cuanto se refiere a la Escuela Especial de Ingenieros de Minas. Hace años se publicó por esta Escuela la hermosa «Cristalografía» de Roso de Luna.

β) *Institutos dependientes de las Universidades.*

Pasaremos revista a los Institutos dependientes de las diferentes Universidades que poseen tales Centros de Investigación.

Universidad de Barcelona.

El Instituto de Investigaciones de esta Universidad fué regido por el Prof. F. Pardillo. Dirigieron sus trabajos a varios puntos de la Cristalografía y tienen una sección de Publicaciones. Trataron de la morfología, de la estructura, de la física y química de los cristales, y se estudiaron instrumentos (cámaras) para investigaciones por rayos X. También iniciaron algunos estudios de la agitación térmica en los cristales.

Universidad de Granada.

Los estudios que se realizan en esta Universidad se han dirigido a la identificación de las estructuras de los minera-

les del suelo, bajo la dirección del Dr. Hoyos, con la ayuda del Dr. McEwan.

Universidad de Madrid.

Se han realizado estudios referentes a las propiedades morfológicas y mineralógicas de los cristales. El primer Director fué el Prof. M. Fernández Navarro, a quien siguió el Prof. G. M. Cardoso y en la actualidad el Prof. J. Amorós. Los nombres de los Profesores San Miguel de la Cámara y de Martínez Strong, dedicados a la Cristalografía óptica, merecen ser citados aquí también.

Dependiente de la Facultad de Farmacia, existe el Instituto de Investigación de Edafología o Pedología, dirigido por el Prof. J. M. de Albareda.

Estudian los minerales del suelo con rayos X, y entre sus seguidores nombramos al Dr. García Vicente.

Universidad de Sevilla.

Los estudios que se llevan a cabo en este Instituto de Investigación se refieren a la difracción de electrones y a estructuras cristalinas, así como también a métodos ópticos para determinar aproximadamente dichas estructuras. Su Director ha sido hasta hace poco el Prof. Brú.

Universidad de Zaragoza.

Bajo la dirección del Prof. J. Cabrera se hacen estudios de estructuras cristalinas y de instrumentos apropiados para ellos.

* * *

En otras Universidades españolas se inician también Institutos de Investigación, donde se piensa hacer estudios relacionados con la Cristalografía.

Preparación de los estudiantes.

La instrucción que se les da al grupo selecto de estudiantes que trabajan en estos Institutos depende en cada caso del trabajo que han de realizar. Generalmente se les especializa en una o dos direcciones.

e) *Institutos especiales de Investigación.*

El más importante Instituto de Investigación española de Cristalografía es el Instituto de Alonso de Santa Cruz.

Desde 1928, y con otro nombre, fué dirigido por el Profesor J. Palacios. Se estudiaron estructuras cristalinas y propiedades físicas y químicas de los cristales. Se inició el estudio de espectroscopia de rayos X.

Actualmente la sección de rayos X de este Instituto está regida por el Prof. L. Rivoir, y merece citarse el Prof. M. Abbad por sus trabajos. Estudian factores atómicos, texturas, estructuras de sustancias anorgánicas y orgánicas, incluyendo los silicatos, la difracción de electrones, propiedades químicas de los cristales y su agitación térmica. Instrumentos en general y de uso particular, son proyectados y hechos en este Instituto. También se lleva a cabo el estudio de minerales cerámicos.

J. Garrido y L. Brú trabajaron allí hace años. García Blanco y Huertas investigan ahí en la actualidad. El últimamente nombrado ha publicado una obra referente a los métodos empleados en el estudio de los cristales con rayos X, muy recomendable para fines de enseñanza.

Este Instituto de Investigación forma parte del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y prácticamente, los demás Institutos de España de Investigación están en contacto con él.

f) *Cursos Especiales en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.*

Cada año esta Real Academia organiza cursos, y durante muchos años el Prof. Manuel Abbad y el Prof. L. Rivoir han tratado las propiedades físicas y químicas de los cristales.

g) *Cursos de verano de Cristalografía.*

Sería de gran interés promover estos cursos de verano, en los que se podrían mezclar estudiantes nacionales y extranjeros, invitando a Profesores de otros países para que den lecciones y expliquen métodos en tiempo tan propicio, cuando tanto los Profesores como los estudiantes libres de otras ocupaciones pueden entrar en contacto unos con otros.

Hemos procurado dar unas ideas muy generales de la enseñanza cristalográfica en España, donde el interés por esta clase de estudios va aumentando, ya que los estudiantes comienzan a darse cuenta del gran interés práctico y técnico que puede llegar a alcanzar esta Ciencia Natural, la Cristalografía.

El empleo de las fotografías aéreas en ciencias
geológicas

POR

ORIOI RIBA

ORIOI RIBA

EL EMPLEO DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS EN CIENCIAS GEOLOGICAS

Alberto Heim fué el primer investigador que tuvo la oportunidad de volar en globo por encima de los Alpes y montañas del Jura. Grande fué su entusiasmo al atalayar con magnífica amplitud el territorio desde considerable altura, mostrando un detalle insospechado y permitiendo la observación de conjuntos naturales bajo un punto de vista hasta aquel entonces inimaginable. Pero, según confesó luego, para él, las montañas aparecían demasiado achataadas, quedando el detalle del relieve casi imperceptible. Esto constituía una seria desventaja para dicho geólogo. Por esta razón, abandonó la idea de querer sistematizar unas investigaciones realizadas a vista de pájaro. Todo geólogo de hoy en día que haya volado con los modernos aviones, habrá experimentado el mismo entusiasmo que Alberto Heim sintiera hace ya varias décadas ; sin embargo, la falta de relieve se deja sentir vivamente, a pesar de que la rapidez de vuelo hace destacar las cresterías de las cordilleras sobre el fondo por hallarse éstas a menor distancia del observador. Ha sido, pues, necesario esperar la implantación de nuevas técnicas relacionadas con la fotografía aérea para que el estudio geológico aéreo fuese algo cómodo, asequible para todos y se obtuviera la sensación

proporcionada de profundidad de campo, o de relieve, necesarias para la fácil interpretación de la realidad geográfica.

La aplicación que la fotografía aérea ha recibido en el campo de las ciencias geográficas, y geológicas en particular, constituye uno de los adelantos de mayor importancia registrados recientemente. La interpretación de las fotografías aéreas nadirales, mediante el empleo del estereoscopio, ha contribuido a este tipo de investigaciones, según opinión de algunos geólogos (Smith, 1954; Smit Sibinga, 1948; Thonnard, 1954, etc.), algo por el estilo de lo que ocurrió con el examen de las secciones delgadas en el microscopio polarizante, en petrografía; o con el empleo de los rayos X, en mineralogía.

El geólogo, en su trabajo de campo, adolece de poca movilidad y, en general, está falto de perspectiva para captar el fenómeno natural en toda su extensión. Se trata de dos graves inconvenientes que implican un gasto de tiempo y de energías que a menudo no se ven compensados con la obtención de resultados de gran exactitud u objetividad. La pequeñez del hombre con respecto al relieve o frente a un fenómeno geológico, le obliga a realizar una labor discontinua y sintetizadora que puede traducirse por la consiguiente deformación de la realidad.

La generalización de los métodos de análisis estereoscópicos, las vastas extensiones de territorio recubiertas por las fotografías aéreas, así como la fácil adquisición de las mismas, son factores que han influido, en grado sumo, a la aceptación, por parte de los investigadores, de esta magnífica herramienta de trabajo. Se da, asimismo, el caso de que cada día son más numerosos aquellos geógrafos o geólogos que no quieren iniciar labor alguna en el campo sin

antes estar dotados de la imprescindible documentación fotográfica.

Como consecuencia de la sistemática aplicación de las fotografías aéreas que se está haciendo en algunos centros de investigación, se ha llegado a tal punto en el perfeccionamiento de las técnicas y en la experimentación de los geólogos especializados, que puede hablarse ya de la individualización, dentro de las ciencias geológicas, de una rama aún muy joven: la *fotogeología*. Sobre este tema se puede recoger importante y numerosa literatura (véase la lista parcial de trabajos que hemos podido reunir). Tal vez, después de pasar revista de este acúmulo de escritos, pueda objetarse que a la fotogeología le falta aún una sistematización para poderse independizar como especialidad. Los autores se repiten. Casi todos ellos están de acuerdo al expresarse que la interpretación de las fotografías aéreas se realiza siguiendo criterios muy personales y que la experiencia adquirida por el investigador admite muy poca sistematización. Así como estaría fuera de lugar el querer reglamentar la investigación sobre el terreno, puesto que cada geólogo observa, se mueve y dirige su interés de una manera distinta; se comprende, razonando de la misma manera, que todos ellos acepten que la fotogeología participa más de arte que de ciencia (Nouhuys, 1948; Thonnard, 1954). Este motivo es por el cual en casi todos los trabajos que hemos consultado, la fotogeología se explica mediante la interpretación de ejemplos fotográficos concretos de fenómenos naturales, a menudo muy didácticos y espectaculares, apoyados por la observación de campo realizada por el autor.

Si bien Thonnard (1954) define la fotogeología como aquel «método geológico en el que la mayoría de las ope-

raciones que se ejecutan en el terreno son realizadas mediante observaciones sobre fotografías aéreas», es preciso añadir que la fotogeología no reemplaza a la geología clásica de campo. Se trata solamente de un nuevo método que se viene a añadir, al igual que los métodos geofísicos, a la lista de recursos de que dispone todo geólogo.

Helbling (1935) decía «que la enorme ventaja de la fotogeología consiste en suministrar al ojo ejercido, mediante vistas aéreas, una cantidad de información y de criterio de orden topográfico, morfológico y geológico, que no se advierten en el transcurso de una visita del terreno, o sencillamente del que no se tiene aún información alguna».

«El valor más destacado de las fotografías aéreas reside en el hecho de que constituyen unos mapas detallados; o, por lo contrario, que con ellas se puede confeccionar un plano muy detallado» (Eardley, 1942).

La fotografía aérea nadiral sirve magníficamente de mapa base; pero es algo más. Así como en un mapa topográfico los objetos están representados mediante sus signos convencionales vemos, además, que en él se ha hecho una selección: no todos los objetos ni todas las formas del relieve están representados; solamente se figuran aquellos que posean un valor trascendente para la comunidad. En cambio, la fotografía aérea impresiona objetos y formas con objetiva realidad; pero a su vez carece de toda explicación y de toda medición altimétrica, no se reconocen los límites políticos, las mojoneras, los bornes kilométricos; falta la toponimia. Resumiendo, la fotografía tampoco excluye el uso del mapa topográfico; ambos se complementan.

Al proyectar un itinerario geológico, la fotografía aérea posibilita la selección, por adelantado, de los puntos del te-

rreno que ofrecen una determinada exposición de un elemento (afloramientos, rocas, suelos, etc.); se obtiene con ellas información segura de afloramientos y canteras, de los lugares adecuados para la toma de muestras, acerca de las sendas o caminos que será conveniente seguir. En pocas palabras: dicho método de trabajo presupone una notable economía de tiempo en la realización de una campaña.

En terreno inculto e inhabitado, y no excesivamente montañoso, puede resultar difícil la orientación y fijación de las estaciones, o posición de los contactos rocosos, por carecerse de puntos interesantes de referencia; dificultad que se agrava si la población forestal es densa, o las condiciones de visibilidad son escasas. Las vistas aéreas, también en este aspecto, son de estimable ayuda a causa de la fidelidad con que se registran los menores detalles de una senda, del arbolado o del roquedo.

Una de las mayores ventajas del método fotogeológico reside en que se guarda permanentemente en el gabinete una documentación unificada de consulta; así se provee una manera de llevar el campo al laboratorio. El examen estereoscópico presenta una perspectiva panorámica, mientras que la exageración del relieve conduce a la percepción clara de los menores detalles e irregularidades superficiales, frecuentemente reforzada por las gradaciones de valores y contrastes vegetales.

EL MATERIAL FOTOGRAFICO

La fotografía aérea obtenida desde el avión en vuelo puede ser nadiral u oblicua. Es decir, según como se coloque el eje óptico de la cámara tomavistas, visando el na-

dir, u otro punto por debajo del horizonte. Ambos tipos tienen sus ventajas e inconvenientes. Con la fotografía vertical, a pesar de que su interpretación no suele ser inmediata, es posible hacer mediciones (teniendo siempre presentes los errores debidos a la distorsión o corrigiéndolos con las cámaras de restitución) de ángulos y distancias, y poder ser observados, por pares, con el estereoscopio; de aquí que sean éstas las más utilizadas en fotogeología. Las fotos oblicuas, en cambio, brindan al estudioso una visión del paisaje bajo un ángulo más familiar, sobre todo cuando se trata de un relieve atormentado. El relieve se interpreta en ellas directamente sin necesidad de recurrir al empleo del estereoscopio. Brevemente, suelen ser más didácticas. En cambio, las distorsiones debidas a la perspectiva, los ángulos muertos, así como la falta de precisión y detalle para los puntos alejados, las hacen poco aptas, fotogramétricamente hablando.

Las vistas aéreas se toman volando el territorio mediante una serie de itinerarios, pasadas o bandas (inglés «strips») rectilíneas paralelas. Se procura que cada punto del terreno quede fotografiado, por lo menos, dos veces. Se conviene, además, que el recubrimiento de dos fotografías consecutivas sea del 60 por 100, y que la parte contigua con la banda vecina, tal recubrimiento sea de un 20 por 100.

La toma de fotografías aéreas es una operación costosa. Por lo tanto, es preciso realizarla de modo que las condiciones exigidas se cumplan con la mayor rapidez y economía de material. El número de fotografías tomado en cada banda dependerá de la altura de vuelo y del ángulo de campo de la cámara. En definitiva, todo se relaciona, pues, con la escala original en que se quiera traba-

jar. Las cámaras tomavistas son automáticas, están provistas de objetivos corregidos de aberraciones, de alto poder definidor, poseen gran luminosidad para permitir instantáneas de 1/200 de segundo o más.

Las cámaras fotográficas para estos estudios son muy variadas; la normal tiene 21 cm. de foco, con formato de 18 × 18 cm., y un ángulo de campo de 32°. Con la gran angular, de 21 cm. de distancia focal y formato de 32 × 32 centímetros, la superficie abarcada en cada imagen equivale al triple de la normal. La puesta al día de este aparato ha dejado en desuso las cámaras multilentes (de 3, 5 ó 9 lentes) empleadas hasta ahora en los reconocimientos rápidos.

En lo que se refiere al material negativo, se exige gran sensibilidad, sin aumentar el grosor del grano, con alto poder resolvente. Se requiere, además, alto grado de contraste, cosa que también depende de la hora y fecha de la foto, así como de la visibilidad. Las películas son en blanco-negro. Poseen emulsiones pancromáticas que, completadas con la utilización de filtros absorbentes de los rayos ultravioletas, violetas y azules, se elimina el efecto del velo atmosférico. Con el empleo menos frecuente de emulsiones sensibles al infrarrojo, se obtienen clisés de gran nitidez, aunque las valoraciones grises habituales de los colores quedan totalmente alteradas (por ejemplo el verde de la vegetación aparece blanco, como si fuera plateado). El ejército americano está haciendo ensayos de fotografía en color. Laylander (1952) lo ha experimentado recientemente, notificando que los resultados de este procedimiento son muy prometedores.

Las escalas empleadas en fotogeología varían entre 1/10.000 y 1/50.000. En las fotografías originales la escala

se deduce recordando la relación $E = f/H$, en la que E es la escala ; f , la distancia focal del aparato fotográfico, y H , la altura de vuelo.

UTILIZACIÓN DEL MATERIAL FOTOGRÁFICO

Componiendo por yuxtaposición las bandas de fotografías, previamente restituídas y encajadas en la red geodésica, se obtiene un *fotoplano* o *mosaico*, que dará una vista de conjunto muy provechosa para el fotogeólogo. Pero téngase presente, como dice Thonnard (1954), que «es imposible para un investigador comprender el partido que se puede sacar de la explotación de las vistas aéreas en tanto que no se las haya examinado en visión estereoscópica».

Obtenemos la sensación de relieve de aquellos objetos cercanos a nosotros, gracias a la visión binocular o estereoscópica. Los rayos visuales de ambos ojos convergen en un objeto según el ángulo llamado paraláctico ; el cerebro interpreta ambas imágenes para darnoslas restituídas en una sola, pero en relieve ; se dice, además, que ha habido «fusión estereoscópica». La sensación de relieve, o de distancia entre dos puntos situados en una misma normal a la base de los ojos, disminuye a medida que nos alejamos de ellos ; ésta desaparece totalmente cuando la distancia alcanza los 1.000 m. Si se amplía artificialmente la separación b de nuestros ojos, a una distancia B , el efecto de relieve, como es fácil demostrar, se verá proporcionalmente amplificado según la razón de bases B/b . En un par de fotografías aéreas, B es la distancia que separa dos puntos de vista ; b vale aproximadamente 65 mm. De esta manera se puede regular la cadencia de la toma de vistas de acuerdo con la sensación de relieve que se quiera conseguir y

con las otras variables a las que nos hemos referido anteriormente.

Un par de fotografías aéreas nadirales adecuadamente montado tendría que ofrecer inmediatamente, al mirarlas, la visión estereoscópica. Esta fusión de imágenes precisa un esfuerzo considerable por parte del observador. Es muy elevado el número de personas que no consiguen acomodar la vista mirando a la vez ambas fotografías, para obtener el efecto deseado de relieve. Por este motivo se utiliza el estereoscopio que, en esencia, consiste en dos lentes de aumento montadas en un bastidor, separadas entre sí por la distancia interocular y orientadas de modo que proyecten las imágenes al infinito (prácticamente a la distancia de algunos metros).

Con el estereoscopio simple, el campo visual no es muy grande (poco más o menos 65 mm.). Para superponer fotografías más extensas se requieren aparatos algo más complicados, provistos de dos pares de espejos o prismas reflectores para articular la marcha de los rayos y aumentar así la base de separación de los ojos.

Un punto significativo del terreno, captado en una fotografía aérea estará representado en la otra fotografía del par estereoscópico, por otro punto equivalente. Se dice que dichos puntos son homólogos. La proyección vertical del vuelo del avión fotográfico sobre el terreno, o lo que es igual, la traza del itinerario de vuelo sobre la banda de fotografías, es lo que se denomina «base de la toma de vistas».

En el montaje adecuado de un par de fotografías para el examen estereoscópico, es necesario : 1.º Que las rectas de unión de los puntos homólogos de ambas fotografías sean paralelas entre sí y a la base de la toma de vistas ; y

2.º Que la longitud de dichas rectas sea igual a la separación E de los centros ópticos de los oculares del estereoscopio sencillo, o de la prolongación de aquellos ejes ópticos en los de reflexión.

En la práctica conviene utilizar un estereoscopio de bolsillo para verificaciones en el trabajo de campo. En el gabinete puede disponerse de otro más completo y perfeccionado, como por ejemplo el estereoscopio sencillo de Richard, o el de prismas de Zeiss. Existen además en el mercado aparatos poco complicados que permiten las mediciones altimétricas (o mejor, desniveles): el estereomicrómetro (o *parallax bar*), basado en el principio del índice espacial, que permite medir un desnivel de 80 cm. sobre fotos tomadas a 4.000 m. de altitud con una cámara de 10 cm. de distancia focal, siendo B igual a 2.000 m.

PRINCIPIOS DE INTERPRETACIÓN

Insistimos en que no es nuestro deseo el presentar un método acerca de la fotogeología, fijando reglas que permitieran al principiante desenvolverse en la interpretación geológica de la fotografía aérea.

Los procedimientos parecen ser de suma simplicidad; pero en la práctica los elementos geológicos y geomorfológicos se entrelazan en una infinita complejidad que los aleja de toda fácil sistematización. Los criterios utilizables son, por lo tanto, numerosos y variados. En esencia, vienen a ser los mismos que emplea el geólogo de campo, pero aplicados desde un nuevo y útil punto de vista, externo a la superficie terrestre, que, en este caso, resulta ser el tema de nuestra disertación. Se pasa de la observación horizontal a la vertical. Los datos que se obtienen inme-

diatamente son, por lo tanto, los contornos, las formas y el color (o tonos de gris).

Las fotografías monocromáticas pueden interpretarse de acuerdo con los siguientes principios: continuidad, textura y color, vegetación y suelos:

1.º *Continuidad*.—Es el rasgo característico de la fotografía aérea. El geólogo de campo busca la continuidad de los límites o contornos que está cartografiando, escalando los otros que le ofrecen mayor panorámica. La fotografía aérea es la vista panorámica por excelencia.

Cuando se trata de regiones denudadas, pobres en vegetación, en la que los suelos revisten escasamente el substrato geológico, las fotografías aéreas pueden ser extraordinariamente explícitas, y la continuidad geológica, perfecta. Trazar los límites de los terrenos—cuando la naturaleza de éstos se conoce de antemano, por inspección en el campo—es un acto inmediato. Las accidentes que dichos límites pueden sufrir (fracturas, recubrimientos, discordancias, extinción de determinadas capas, contactos con macizos eruptivos, entrecruzamiento de rocas filonianas, etcétera), escasas dudas ocasionarán al fotogeólogo con experiencia de campo. La interpretación tectónica de los contornos así estudiados conduce a la localización de sinclinales y anticlinales, posición de los ejes de plegamiento, y las grandes fracturas, en una palabra: a la deducción de su estilo de plegamiento.

Se pueden marcar dichos límites, bien sea directamente en la fotografía, con tinta (el lápiz es poco apto), por calco con papel vegetal transparente, o bien trasladándolos cuidadosamente al mapa topográfico.

Con dicho mosaico, o simplemente con las copias fotográficas debidamente pegadas en una tablilla o cartón re-

cio, se tiene dispuesto el material para el trabajo de campo. Algunos geólogos, con el fin de no ensuciar indebidamente la fotografía, aplican una lámina de papel transparente «rodoid» adherida a uno de los bordes de la fotografía, con lo cual se facilita a la vez la lectura directa de la vista fotográfica, así como el trabajo de ir marcando los límites y demás detalles encima de dicha lámina, resiguiéndolos por transparencia.

Téngase presente que la aridez y escasa vegetación de parte de nuestra Península favorecen en gran manera la interpretación directa de las fotos aéreas; podemos afirmar además que las zonas más descarnadas de nuestra orografía formarán parte de este óptimo interpretativo.

Por lo contrario, cuando la vida vegetal y los suelos cubren más extensamente la superficie terrestre, la geología aparece progresivamente más velada, teniendo que recurrir el fotogeólogo a otros elementos de juicio. Uno de ellos, quizá el más importante, es el relieve. La erosión diferencial pone de manifiesto, a pesar de la cobertura vegetal, aquellas capas más resistentes, formando salientes rocosos, cuevas o cantiles, quedando las capas más tiernas reducidas a relieves cóncavos o a vertientes de poca pendiente. En esta interpretación es imprescindible el empleo del estereoscopio. Rara es la vez que un contacto entre terrenos de naturaleza distinta no vaya subrayado por un contraste morfológico, grande o pequeño.

El análisis morfológico de algunas áreas puede suministrar aún mayor caudal de datos suplementarios. Por ejemplo, la fisonomía de la red fluvial suele estar de acuerdo con la naturaleza del terreno atravesado, suele adaptarse a la estructura del mismo, amoldándose a la red de dia-

clasas, a las corridas de las capas, a las líneas de falla, a los contactos de terrenos de composición muy distinta, etc.

2.º) *Textura y color.*—La textura depende en esencia del carácter momentáneo que ofrezca un afloramiento rocoso. La «microtopografía» de la superficie rocosa puede dar un caudal importante de información acerca de la naturaleza litológica. Un campo de lenar, de dolinas, las diaclasas entreabiertas surcando la superficie de un estrato, denotan la índole calcárea de la capa; así como la pizarrosidad o esquistosidad revelarán los terrenos paleozoicos o metamórficos. Podemos citar igualmente la erosión bolar típica de muchos paisajes graníticos, acompañada por una red muy sensible de diaclasas. En fin, los canturrales, los terrenos esencialmente arcillosos, etc., cada uno de ellos presentará al fotogeólogo un sello distinto. Aunque siempre sea preciso comprobar en la naturaleza los caracteres petrográficos observados en el gabinete, no es óbice para que previamente puedan trazarse los límites entre tales terrenos, o se pueda interpolar sin gran temor a errores entre dos itinerarios paralelos previamente conocidos, geológicamente hablando.

Ya hemos hecho notar el carácter monocromático (blanco-negro) de los actuales archivos fotográficos. Es de esperar que en un futuro próximo la fotografía aérea se llevará a cabo con material sensible al colorido, lo cual será una ayuda inestimable para cumplir con nuestro propósito. Entre tanto, la valoración de un gris más o menos oscuro podrá ser criterio para la diferenciación de terrenos. Por ejemplo: se admite corrientemente en rocas eruptivas, que los granitos destacan por sus tonos claros de los esquistos metamórficos envolventes; que las rocas piroclásticas y las lavas basálticas aparecen muy oscuras en las fotografías.

3.º) *Vegetación y suelos.*—Los suelos pueden ser muy

distintos, según la composición de la roca madre que los ha originado. Pueden ser más o menos profundos, más o menos ricos en agua, más o menos fértiles con arreglo a las características físicas y químicas propias de la roca donde se asientan. A su vez, la vegetación reflejará fielmente dichos caracteres transmitidos a través del suelo. Brevemente: es muy frecuente que la vegetación se adapte a la disposición y estructura del roquedo infrayacente. He aquí, pues, otro elemento de juicio válido, incluso en zonas extensamente pobladas de vegetación forestal (selva tropical, bosques templados) o herbácea (estepas, sabanas, tundra).

De todo lo expuesto se concluye que no se pueden agotar todas las fuentes de interpretación. Varios factores pueden concurrir para revelarnos, por ejemplo, una falla. Pero nos cabe preguntar: ¿su reunión es suficiente para asegurar su interpretación correcta? No siempre; todo depende cada vez del caso examinado y de la compenetración del geólogo con el terreno de estudio.

INTERPRETACIÓN DE GABINETE

Los servicios fotogramétricos de buen número de países coloniales o poseedores de zonas difícilmente accesibles, como las tierras polares, los desiertos, etc., están en estrecha colaboración con el correspondiente servicio geológico. No es de extrañar, pues, que al mismo tiempo en que se levanta el mapa fotogramétrico de la zona hasta aquel momento virgen de todo reconocimiento, se realice un estudio fotogeológico previo de gabinete. Se comprende, además, que, con fines de prospección de petróleo, o de otros importantes yacimientos minerales, se desee acelerar, por

parte de las compañías mineras, la marcha de la investigación, ahorrando al geólogo de campo tiempo y el engorroso trabajo de desbrozo, con eliminación de aquellas áreas poco favorables para la ubicación de los minerales. En primer lugar, se opera sobre el mosaico, que revela ya de por sí los rasgos geológicos más destacados de la región; luego, se pasa al estudio con el estereoscopio.

El mapa provisional que se levanta es esencialmente tectónico, en el cual se figuran, si se trata de terrenos sedimentarios, las corridas de las capas, contactos, pliegues y evolución de los mismos, rumbo y buzamiento, potencias, discordancias, recubrimientos, etc. Queda por comprobar en el campo la litología, paleontología y edad de las formaciones en estudio, cortes verticales de detalle, así como la disposición geológica de aquellas zonas que no presenten afloramientos perceptibles en la fotografía.

Adaptándose a este nuevo método de trabajo, el Comité Especial del Katanga procede a un ensayo de levantamiento a escala 1'40.000, cuyos resultados son luego enviados al equipo geológico congolés. La celeridad que se imprime a la prospección es realmente importante. Otros servicios fotogramétricos, como el de la K. L. M., en Delft, o el laboratorio fotogeológico del Institut Français du Pétrole, de Rueil-Malmaison, vienen realizando programas acelerados de prospección para compañías particulares u organismos estatales, mediante procedimientos similares al reseñado.

Los aparatos de restitución aérea de que están provistos los servicios fotogramétricos o fotogeológicos permiten la medición estereoscópica precisa de las tres coordenadas de cualquier punto representado en el par estereoscópico. Los fotogeólogos, valiéndose de esta propiedad, están capacita-

dos para determinar geoméricamente valores del máximo interés, tales como rumbo y buzamiento, y espesores de las capas.

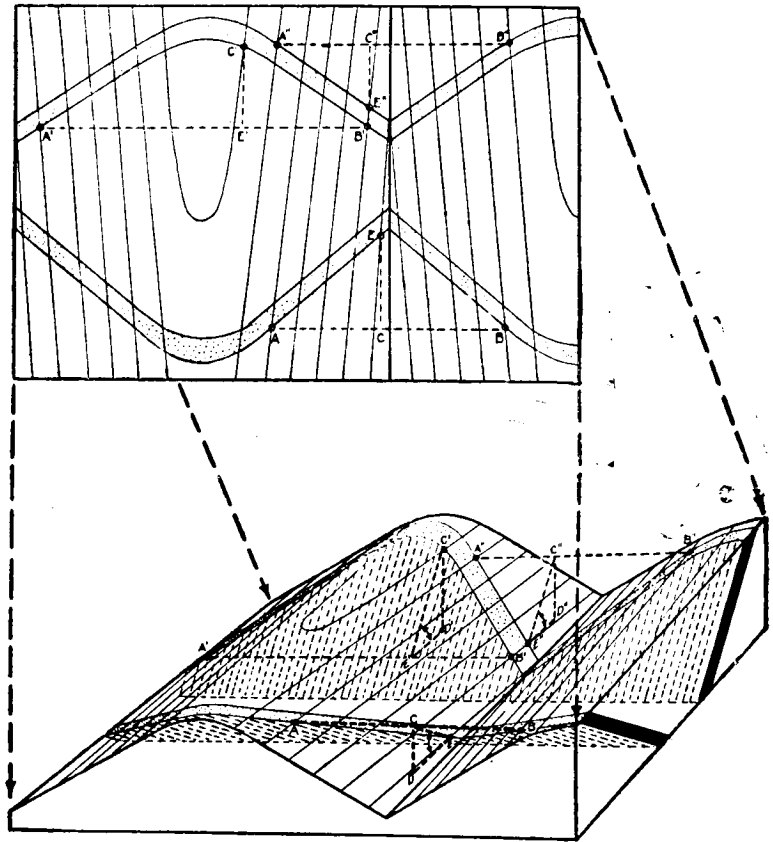


Fig. 1.—Determinación del rumbo y buzamiento de dos capas inclinadas a través de un valle y de una loma. A B, A' B', A'' B'' son los rumbos, las normales C E, C' E' y C'' E'' a dichos segmentos son las direcciones de buzamiento, y los ángulos en E, E' y E'' son los buzamientos respectivos. Según EARDLEY (1942).

Como el rumbo de una capa viene definido por la intersección del plano de la misma con el plano horizontal, bastará con unir con una recta dos puntos de un estrato visible

en la fotografía (o del mapa geológico), situados a igual altura, para tener la dirección buscada (fig. 1).

La posición en el espacio de un estrato vendrá determinada (suponiéndolo plano) por tres puntos, que podrán ser A y B, situados en una misma horizontal, y otro E,

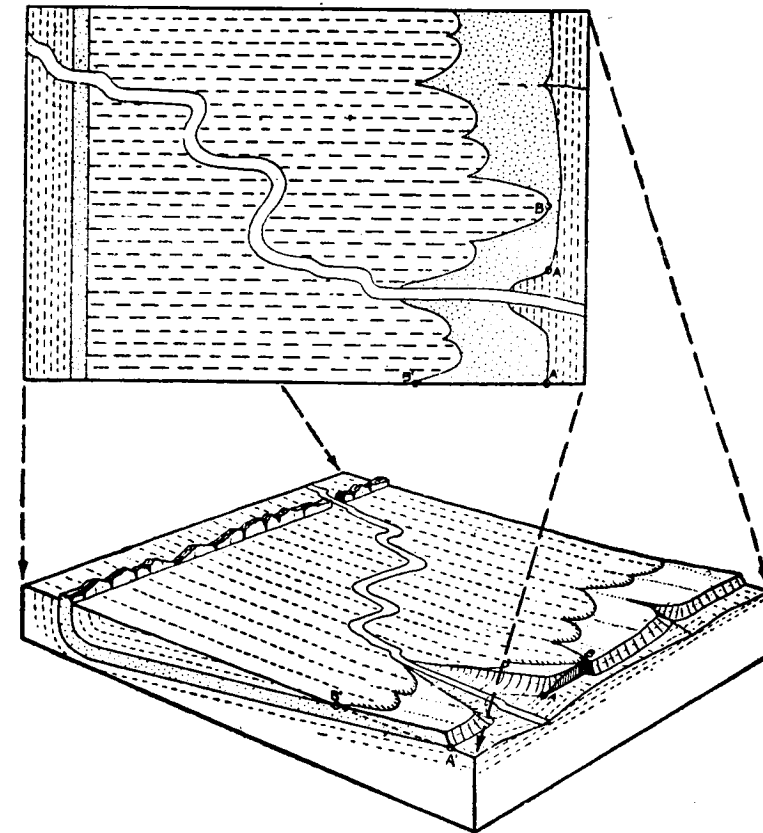


Fig. 2.—Bloque diagrama mostrando una capa suavemente inclinada y luego doblada hasta la vertical. La potencia de la capa viene dada por la diferencia de cotas o altitud entre dos puntos A y B situados encima de la línea de capa. La diferencia de cotas entre A' y B' no da la potencia buscada. Para una capa vertical, el espesor viene dado por la distancia entre dos puntos situados en la base y en el techo de la capa, y encima una misma normal a la línea de capa. Según EARDLEY (1942).

externo a la recta AB. La dirección de buzamiento será una normal al rumbo AB, cuyo punto de intersección C nos determinará la hipotenusa de un triángulo rectángulo ECD, en el que ED es la proyección vertical de dicha hipotenusa (cateto), y CD, la diferencia altimétrica entre E y AC. La averiguación del ángulo de buzamiento CED es un problema sencillo de trigonometría.

Recomendamos el empleo de la proyección estereográfica (Phillips, 1954) para solucionar rápidamente otros problemas tectónicos, tales como, por ejemplo, fijar el rumbo e inclinación de un eje de plegamiento en su terminación periclinal, partiendo de dos afloramientos; estudio de la red de diaclasas; intersección de planos de falla o de diques, etc.

La determinación de la potencia de una capa, siguiendo un razonamiento parecido, resulta ser un problema trigonométrico, también sencillo. Cuando las capas están suavemente inclinadas, con buzamientos inferiores a 10°, puede aceptarse como valor del espesor, despreciando un error en exceso superior a 1,5 por 100, la diferencia de cotas de dos puntos A y B, alineados según el rumbo de la misma. La medición entre A' y B' sería errónea (fig. 2).

LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS EN GEOMORFOLOGÍA

El análisis del relieve queda sumamente simplificado con el estudio estereoscópico de las fotografías aéreas. La Geomorfología es la rama geológica que más beneficiada sale con el empleo de dicho método, ya que dicho estudio se reduce, casi exclusivamente, a la superficie terrestre.

Englobamos bajo este mismo epígrafe el estudio, no sólo de las formas, sino también el de los depósitos recién-

tes, el de las «formaciones correlativas» o contemporáneas a la evolución de una unidad de relieve. Con esto nos referimos concretamente al Cuaternario y, en general, a aquellos terrenos originados después del llamado ciclo alpídico. El estudio del Cuaternario y la Geomorfología están tan íntimamente compenetrados, que ni uno ni otro pueden desenvolverse sin tener presentes las íntimas relaciones que los unen.

El análisis de las formas particulares del relieve con el empleo de las fotografías aéreas reviste particular interés por cuanto se refiere a la evolución de fenómenos naturales actuales. Se pueden archivar vistas sucesivas de una misma área fotografiada en épocas o años distintos, con lo cual el geólogo, o el ingeniero civil interesado por un determinado fenómeno, dispondrá de una documentación inestimable para seguir la marcha del mismo, y así poder predecir su desarrollo ulterior y hallar la manera de solventar las dificultades que surgieran en caso de ocasionarse perjuicios. Pongamos como ejemplos: la evolución de las costas, que por acción del oleaje, del transporte por las corrientes marinas o de marea y de la sedimentación fluvial y marina combinadas, pueden alterar rápidamente la fisonomía litoral, cerrar determinados pasos de salida al mar; junto con la erosión y retroceso de la costa, formación de deltas, etc. Las dunas de rápida formación y desplazamiento; los avances y retrocesos de los glaciares tan sensibles de un año para otro; la acción devastadora de nuestros ríos mediterráneos, con sus lechos mayores periódicamente inundados; las variaciones paisajísticas impuestas por la actividad volcánica, etc., pueden constituir igualmente para el profesor de Geología maravillosos documentos geodinámicos.

Un doble ejemplo de aplicación de la fotografía aérea lo hemos vivido acompañando al Dr. L. M. J. U. van Straaten en excursiones por los brazos marinos, en Zelanda y por el Mar de los Wadden, en Frisia. Dado el carácter efímero de la extensísima plataforma submarina dejada al descubierto por la bajamar, el empleo de las cartas marinas usuales resulta impracticable en dicha zona. Fijar los puntos de observación en lugares alejados de la costa es casi imposible—a no ser que se empleen los métodos topográficos, siempre muy engorrosos—si no se emplea la fotografía aérea. Con ella, además, se pueden observar perfectamente los canales de marea, con su tortuosa red de canalillos arborescentes, situándose fácilmente el abrupto del «schorre»; asimismo se distinguen perfectamente las áreas ocupadas por arenas por su tono más claro de los peligrosos e intransitables lodazales. Del estudio comparativo de dos vistas tomadas en fechas distintas, aquel geólogo neerlandés ha podido sacar interesantes conclusiones relativas al modo de depositarse los sedimentos marinos de facies de estuario y a su carácter evolutivo.

El desarrollo de un determinado fenómeno, como los que acabamos de reseñar, va íntimamente ligado al tiempo geológico. Cuando aquél ha concluído, la edad relativa de las formas o depósitos sólo puede obtenerse mediante el análisis del relieve y de las relaciones recíprocas. Numerosísimos ejemplos demostrativos del método fotográfico aplicado a la morfología podrá encontrarlos el lector, detallados en una gran mayoría de las publicaciones anotadas en la bibliografía que acompaña. Aquellos casos en que los rasgos característicos de un fenómeno solamente quedan netamente perceptibles a vista de pájaro; por ejemplo, la alineación de dunas, los campos de drumlins, con sus marcadas ali-

neaciones, las conocidas fotografías del escarpe de la «Saint Andreas fault», en California, las redes de diaclasas, etcétera, son por lo general los temas preferidos por los autores de la bibliografía aludida.

UTILIZACIÓN DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS EN EDAFOLOGÍA

A medida que los suelos y la vegetación van constituyendo una cobertura continua, para el geólogo el interés de la fotografía aérea decrece considerablemente, ya que el substrato queda progresivamente velado o difuminado. Entramos en el dominio de la Edafología. Es frecuente, no obstante, que puedan percibirse los cambios litológicos sobresalientes a través del manto del suelo de cultivo, debido a las diferencias de colorido, o a la distinta capacidad de retención del agua. Se verifica, pues, una sustitución de especialidades dentro del marco de las ciencias geológicas; pero la naturaleza es la misma.

Las variaciones de suelos que un edafólogo puede ir encontrando en una región, dependen, en gran manera, de varios factores: de la morfología, de las disponibilidades en agua, del microclima, y de manera muy destacada, de la roca madre. Por esta razón, la prospección edafológica no puede desligarse, en modo alguno, de la geología; y aquella, desde luego, se verá considerablemente abreviada y precisada mediante la interpretación de las fotografías aéreas.

Ahora bien: dicha interpretación debe ajustarse a otros principios y a los métodos usualmente empleados en la cartografía normal de suelos. Como muy bien hace recordar Buringh (1954), «la prospección moderna y la clasificación de los suelos están basados en el estudio de sus respectivos

perfiles. Dicho estudio se ejecuta en parte en el terreno y en parte en el laboratorio. En este último caso se analizan las muestras de todos los horizontes y capas de los perfiles típicos, con el fin de obtener el conocimiento de sus características físicas, químicas y biológicas. Queda claro que las fotografías aéreas poca ayuda pueden prestar a esta labor».

Esto, por descontado, implica una mayor limitación de las posibilidades de nuestro método fotográfico. Sin embargo, abordando el problema de distinta manera, es preciso tener presente que los factores edáficos, a los que ya hemos aludido, pertenecen al medio ambiental en el que el suelo se ha desarrollado. Las fotos aéreas encierran, en este sentido, una gran cantidad de información válida, que es posible analizar, relacionándola con las condiciones de la superficie terrestre. Así, cada elemento puede ser considerado aisladamente o constituyendo grupos. El resultado conduce al establecimiento de un gran número de límites de suelos, que pueden consignarse en la fotografía aérea. Cada una de las «unidades cartográficas» de tal modo delimitadas, y definidas por los factores que tienen de común, sirven, previa verificación en el campo, como base para la cartografía definitiva. Está claro que en el establecimiento de dichas unidades sólo se tienen presentes aquellos factores indispensables para cumplir con nuestro propósito. Asimismo se consideran previamente conocidos los rasgos geológicos, botánicos y climáticos de la zona de estudio, con lo cual se amplían las posibilidades de interpretación. De esto se infiere la necesidad de que todo cartógrafo de suelos tiene que estar impuesto en geología, geomorfología y botánica para alcanzar una correcta interpretación de los hechos observados en las vistas aéreas.

Téngase presente que el tiempo invertido en el análisis de las fotografías aéreas es muy breve en comparación con la duración normal del trabajo de campo. Además, con esta ayuda, la investigación gana en precisión y detalle. De igual manera el ahorro de tiempo se deja sentir en lo que atañe a la recogida de muestras y a los sondeos metódicos que, en este caso, pueden reducirse a los estrictamente necesarios para una correcta clasificación de una «unidad cartográfica».

Si en cartografía de suelos se quieren obtener resultados extensivos de reconocimiento, válidos para amplias zonas, se recurre a los métodos de interpolación y extrapolación. Con el de interpolación se divide el terreno en fajas, de áreas más o menos equivalentes, en las que alternativamente se aplican, en unas, los métodos de campo y fotográfico a la vez, y en otras, sólo la interpretación fotográfica; es decir, interpolando los resultados adquiridos en ambas bandas vecinas. El método de extrapolación únicamente puede servirnos para obtener una orientación, quedando amplio margen interpretativo a la experiencia personal del edafólogo.

El método expuesto no sólo reviste importancia para la clasificación y cartografía de suelos, sino también para la valoración de terrenos en agronomía, en los servicios de conservación de suelos y lucha contra la erosión, ingeniería de caminos, geografía, planificación urbana y rural, etcétera (Colwell, 1952).

Buringh calcula, según experiencia propia, que mediante el análisis de fotografías aéreas, la cartografía de suelos, a escala 1/50.000, puede ser llevada a cabo solamente en una cuarta parte del tiempo requerido en cartografía normal. El rendimiento obtenido con dicha técnica puede

estimarse ser de 800 a 1.000 hectáreas diarias. Los Estados Unidos se hallan muy adelantados en la aplicación de este método cartográfico. Pasto (1953) considera que se necesitan mapas de suelos para 2.200.000 millas cuadradas de la extensión total de Estados Unidos (Alaska, inclusive). Para realizarla con los medios ordinarios, un prospector tendría que trabajar, en el supuesto, 1.300 años; o lo que equivale a la labor de un equipo de 433 especialistas durante treinta años. Considérese, pues, el ahorro que representa para el Erario público el que una obra tan inmensa pueda ser llevada a cabo solamente en siete años y medio.

LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS EN ENSEÑANZA

Antes de concluir esta nota no podemos pasar por alto el aspecto didáctico de las fotografías aéreas. Se trata, en numerosísimos casos, de documentos fotográficos de elevado valor instructivo. De esta manera, es posible proveer al alumno de geografía o geología de enseñanza media o universitaria, de un caudal de hechos desprovistos de todo falseamiento o interpretación, captado desde un punto de vista, desde luego, para ellos desacostumbrado, pero que, por las razones que hemos venido repitiendo, les ofrece una visión más extensa y completa de una comarca o de alguna manifestación natural, cuyo conjunto no es perceptible, ni fotografiable, por el investigador de campo. En cierto modo, la fotografía aérea oblicua o nadiral viene a constituir el eslabón de enlace entre la visión ordinaria que se tiene de los hechos geográficos y la idea que de la cartografía geográfica o geológica es preciso imponer al alumno.

En país llano, la falta casi absoluta de panorámica, se

deja sentir profundamente. Por esta razón no es de extrañar que una parte importante de las ilustraciones de monografías o textos de índole geográfica, edáfica o geológica de los Países Bajos, por ejemplo, esté compuesta a base de fotografías aéreas muy seleccionadas e instructivas.

Pedagógicamente hablando, Linton (1952) insiste en la necesidad de establecer una progresión en la enseñanza por medio de las fotografías aéreas. Partiendo de la visión familiar, casi a ras de suelo, se da paso, al igual que un avión al alzar el vuelo, a imágenes oblicuas para alcanzar, finalmente, la fotografía vertical. Dicho autor establece varias categorías fotográficas de acuerdo con la edad de los alumnos.

En enseñanza superior debería intensificarse notablemente la interpretación de las fotos nadirales a base del estereoscopio. Sobre todo en geomorfología y geología, la adquisición de colecciones fotográficas de este género dan al profesorado un medio, por cierto muy económico, de trasladar los paisajes o fenómenos geológicos de que se esté tratando al laboratorio, y de manera especial de aquellas zonas geográficamente alejadas del centro educativo. En cambio, aquellas fotografías tomadas en el ámbito regional de la escuela, proporcionarán al alumno un medio instructivo para simultanear el ejercicio de la fotogeología con la comprobación subsiguiente en el terreno.

Citaremos como medio muy eficaz para la ilustración de cursos y conferencias geológicas, el procedimiento de proyección estereoscópica ideado y montado por el Profesor Ph. H. Kuenen, en el Instituto de Geología de la Universidad de Groninga. En esencia, consiste en proyectar el par estereoscópico por medio de dos cámaras, debidamente separadas, sobre una pantalla de tipo corriente. Los objeti-

vos de dichas cámaras van provistos de discos de plástico «Polaroid» colocados de modo que los haces luminosos proyectados vibren en planos normales entre sí. Se provee a las personas del auditorio de lentes planos revestidos de dicho plástico polarizante, cuyos planos de polarización están igualmente normales entre sí, y a su vez paralelos a los planos de polarización de las cámaras. De esta manera el ojo derecho sólo podrá percibir la imagen dada por la cámara derecha. Lo mismo diremos para el ojo izquierdo. Por el hecho de encontrarse superpuestas en un mismo plano, la fusión estereoscópica de ambas imágenes se alcanza sin ningún aparato intermediario. El efecto de relieve así obtenido es realmente convincente. El relieve sobresale de la pantalla, no importando ni el lugar de la sala ni la distancia para percibir netamente la visión deseada.

En algunas obras de divulgación se ha empleado el conocido método de dar la sensación de relieve mediante la impresión superpuesta de las imágenes del par estereográfico en colores complementarios. El análisis se hace mediante anteojos de los mismos colores. Es preciso señalar la novísima edición del *Atlas des formes du Relief*, publicado por el Institut Géographique National (París, 1956), que constituye una maravillosa colección de fotografías aéreas impresas con este procedimiento. Cada fotografía va acompañada de mapas y cortes geológicos interpretativos de la misma área fotografiada además de una breve explicación. Este método de exposición e impresión resulta muy original y didáctico. La selección de fotografías aéreas, todas ellas procedentes de Francia y sus colonias, ha sido realizada por destacados especialistas y profesores de aquella nacionalidad.

Como decíamos al principio, la fotogeología empieza a

estructurarse como especialidad dentro de las ciencias geológicas. No es, pues, extraño que en algunas Universidades se conceda un lugar destacado a la enseñanza del nuevo método. Como único ejemplo citaremos a J. Gandillot, autor de una tesis doctoral, titulada *La photographie aérienne appliquée aux recherches géologiques* (París, 1955), probablemente la primera que se haya sostenido sobre nuestro tema. Actualmente profesor de la Sorbona, explica unos cursos de fotogeología seguidos de vuelos de prácticas con los alumnos.

LA FOTOGRAFÍA AÉREA EN ESPAÑA

El empleo de la fotografía aérea en España para usos civiles y cartográficos no es ninguna novedad. La fotogrametría data, en nuestro país, de 1914, fecha en que el Instituto Geográfico crea la nueva modalidad con el empleo de los métodos fotogramétricos terrestres, encargándose la jefatura de dichos trabajos a don José María Torroja, fundador, al mismo tiempo, de los «Anales de Fotogrametría en España», portavoz de la Sociedad Estereográfica Española.

En 1930, J. Ruiz de Alda presentó un proyecto para realizar el Catastro, utilizando fotografías aéreas, que denominó Catastro rápido nacional. En vías de ensayo, en 1931, se llevó a cabo el primer levantamiento en Navarra con positivo éxito en cuanto se refiere a economía y rapidez. Poco después, en 1933, el Servicio Catastral se ampliaba dando entrada definitiva a la fotogrametría aérea, constituyéndose cuatro brigadas de trabajo, dos aéreas y dos terrestres, montándose al mismo tiempo los servicios que habían de obtener las fotografías aéreas para su aplicación al Avance

Catastral. Posteriormente, dichos equipos fotogramétricos se han visto reforzados y ampliados, trabajándose hoy en día con gran celeridad en el levantamiento de nuestro catastro (P. Martínez Cajén, 1955).

Paralelamente al levantamiento catastral, la fotogrametría aérea se empleó con fines puramente cartográficos cuando la Guerra de Liberación, para suplir con rapidez las hojas que aún faltaban del Mapa al 1/50.000, hoy completo; y actualmente para modernizar nuestras segundas y terceras ediciones del mismo Mapa. L. Rodríguez Valderrama (1955) propone, en una conferencia, un boceto de un programa amplio de cartografía, según el cual, se ejecutarían los trabajos de puesta al día del Mapa Nacional a 1/25.000, los trabajos de la nueva Carta a 1/5.000, así como los del Catastro Parcelario a la misma escala. En dicho trabajo cuenta de manera especial con el importante refuerzo que representa, para tal ejecución, la fotogrametría aérea.

Si a las colecciones de fotografías aéreas existentes ya en 1939, añadimos todos los trabajos realizados con posterioridad por nuestros propios organismos, junto con colecciones de origen extranjero adquiridas por el Gobierno a raíz de la terminación de la contienda mundial, nos parece a todas luces injusto que en la «Carte des surfaces couvertes par des photographies aériennes verticales et obliques», mapa publicado por la *Commission pour l'utilisation de photographies aériennes dans les études géographiques* (UNESCO, 1952, Congr. Int. Geografía), conste nuestro país casi totalmente en blanco (sólo se da una estrecha banda, en el S. de Andalucía, como probablemente fotografiada) símbolo de la carencia de todo reconocimiento aéreo.

En lo que atañe al empleo de la fotografía aérea en geología, algunos profesores y colegas nuestros han presentado ya algunas notas o conferencias subrayando la gran aplicación que tiene la fotografía aérea en la prospección y cartografía geológica. El profesor L. Solé Sabarís dió una lección sobre las ventajas de dicho método, en el Curso de Cartografía Geológica celebrado en el Instituto de Geología Aplicada de Oviedo en 1954 (Cabanás, 1956). El profesor J. M. Ríos, nos notifica (1955) haber empleado la fotografía aérea en la prospección de estructuras mesozoicas en La Mancha (ver la 4.ª ed. del Mapa Geol. de Esp. y Port. 1/1.000.000), y (Gavala y Ríos, 1955). El Doctor J. M.ª Fúster presentó recientemente, en una sesión de los Coloquios de Geología (11-5-56), organizados por el Instituto «Lucas Mallada», un resumen acerca de la fotogeología y sus métodos, seguido por el examen estereoscópico de fotografías muy escogidas de carácter geológico y morfológico.

Es de desear que la difusión del método fotográfico en España sea más general. Urge en nuestro país el empleo de métodos como el que venimos tratando, para que los trabajos de geología, pura o aplicada, y de modo especial nuestro Mapa Geológico 1/50.000, puedan ejecutarse con mayor exactitud y celeridad; hecho tanto más necesario cuanto que, dado el bajo número de geólogos y de equipos especializados en levantamientos geológicos (y desde luego edáficos), no es aún suficiente para la terminación de dicho Mapa en fecha próxima. Por todo ello, no quisiéramos caer en pesimismo pensando si sería absurdo frenar su uso atacando este método de investigación, precisamente por las dos virtudes que encierra: la rapidez y la economía de su empleo. Se hace necesario ampliar el servicio a todos aque-

llos investigadores que, para poder realizar los trabajos de campo con mayor eficacia, requieren la ayuda de la fotografía aérea, disminuyendo al propio tiempo la lentitud del trámite, así como el elevado coste del material suministrado. Es cierto que las fotografías aéreas encierran, para determinadas y limitadas zonas, un marcado interés militar; sin embargo, dejando aparte la confianza que en tales casos es preciso otorgar a la persona usuaria de la fotografía aérea, digamos únicamente que para la confección de algunas hojas geológicas españolas pirenaicas, nos consta que fueron utilizadas fotografías aéreas de origen francés.

Varias publicaciones geológicas o geográficas presentan ya, como documento gráfico, interesantes vistas aéreas de las zonas estudiadas. Véanse algunas en la lista bibliográfica que acompaña esta nota.

CONCLUSIONES

1.^a La interpretación de las fotografías aéreas en geología constituye otra herramienta de trabajo en manos del geólogo que no excluye el trabajo en el campo, aún en los casos más favorables.

2.^a La fotografía aérea puede, merced al punto de vista externo a la superficie terrestre, revelar fenómenos geológicos no perceptibles por otros procedimientos.

3.^a Permite además hacer un levantamiento, o estudio previo, que facilita el trabajo normal de campo, con considerable economía de gastos y tiempo.

4.^a No hay duda que el empleo de la fotografía aérea puede dar mayor precisión al dibujo de los contornos, y detalles geológicos.

5.^a En el trabajo de campo, la fotografía aérea nadiral

puede sustituir con ventaja los mapas topográficos; pero le falta la altimetría y toponimia. Por otra parte viene a ser un método para prolongar la observación de campo en el laboratorio.

6.^a La interpretación geológica de las fotografías aéreas se ve enormemente facilitada con el empleo del estereoscopio. Algunos estereoscopios perfeccionados permiten medir las tres coordenadas de un punto. Con lo cual, es posible determinar el rumbo, buzamiento y espesor de una capa.

7.^a No pueden darse reglas rápidas y seguras para la interpretación geológica de las fotografías aéreas. Al igual que en el trabajo de campo, todos los resultados dependen de la experiencia y de la compenetración del fotogeólogo con el territorio que estudia. Así se puede concluir que la fotogeología participa a la vez de arte y de ciencia.

8.^a En edafología, la utilización e interpretación de las fotos aéreas viene a ser algo más limitada que en geología; se puede llegar a diferenciaciones de unidades edáficas con el estudio de los cambios geomorfológicos y ambientales. La tipología es preciso determinarla en el campo.

9.^a Es de esperar que la adaptación de las fotografías aéreas en color constituirá una aportación de gran valor para la interpretación fotogeológica.

10.^a Debido a las condiciones de aridez España ofrece gran aptitud para el empleo de los métodos fotogeológicos.

BIBLIOGRAFIA SOBRE LA UTILIZACION DE LAS FOTOGRAFÍAS AEREAS

NOTA.—Esta bibliografía es el resultado de nuestro trabajo de documentación. No pretende, ni de lejos, ser exhaustiva. Se desea únicamente dar con ella una idea de la importancia dada al tema y de lo mucho que se ha tratado en estos últimos años.

BIBLIOGRAFIAS, REVISTAS Y COLECCIONES DE FOTOGRAFÍAS AERIAS

- AMERICAN GEOGRAPHICAL SOCIETY. *Photographic supplement in current geographical publications*. New York.
- AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE. 1951. *Outstanding aerial photographs in North America*. Report núm. 5. «Notl. Ac. Sc. Nat. Research Council». Washington.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. 1936. *Committee on bibliography of photogrammetry and its applications*. «Photogramm. Engineering», t. 2, núm. 4.
- JENKINS, D. S. 1946. *Appendice of Origin, distribution and air photo identification of U. S. soils*. «U. S. Dept. of Commerce». Washington.
- LANG, A. H.; BOSTOCK, H. S. y FORTIER, Y. O. 1947. *Interim catalogue of Geological Survey Collections of outstanding air photographs*. «Geol. Survey Canada». Paper, núms. 47-26. Ottawa.
- LIGHT, R. V. 1944. *Focus of Africa*. «Am. Geograph. Soc. Spec. publ.», núm. 25. New York.
- LUCHTFOTOARCHIEF (Het) van de Stichting voor bodemkartering. Folleto 6 págs. Uitgave Stichting v. bodemkartering, 13 y 14. Wegeningen, 1947.
- ONTDEKKINGSREIZEN in de luchtfoto. *Vordrachten, gehouden op een symposium over luchtfotointerpretatie op 6 Dec. 1949 in Delft*. 28 págs.
- PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING. «Revista del Geol. Dept. Univ. Kansas», U. S. A.
- STONE, K. H. 1952. *Select bibliography on the utilization of air photos for geographic research*. «Rapp. Com. Util. Phot. Aériennes». UNESCO, págs. 44-48. Washington.
- U. S. DEPARTMENT OF AIR FORCE. 1946. *Index to aerial and ground photographic illustrations of geological and topographic features throughout the World*. Headquarters USAAF. Washington.
- U. S. NAVAL PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION CENTER. 1950. *Abridged bibliography of photographic interpretation*. Report, núm. 102, A/50. Washington.
- WANLESS, H. R. 1949. *Aerial photograph collection*. Univ. of Illinois. Geol. Dept.

OBRAS DE INTERES GENERAL, O CON EJEMPLOS DE INTERPRETACION FOTOGEOLOGICA

- ABRAMS, T. 1944. *Essentials of aerial surveying and photo interpretation*. 1 vol., 239 págs., 210 figs. New York & London.
- ANDERSON, R. L. 1952. *Abstract of the status of photointerpretation in petroleum geology*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 3, páginas 460-461.
- ANDREWS, G. S. 1940. *Notes on interpretation of vertical air photographs*. «Forestry Chronicle», t. 16, págs. 202-215.
- BAESTLE, P. L. *Cours de géodésie pratique et de topographie*. II. «C. Photogrammetrie Ec. Roy. Militaire», núm. 1.247, 14/31. C. D. U. 526.918 (075.8).
- BLACK, R. F. & BARKSDALE, W. L. 1949. *Oriented lakes of Northern Alaska*. «Journ. Geol.», t. 57, págs. 105-118.
- BOBEK, H. 1941. *Luftbild und Geomorphologie*. «Hansa Luftbild». Berlin.
- BROCK, G. C. 1952. *Physical aspects of air photography*. 300 páginas. London.
- BRUNDALL, H. 1947. *Photogeology aids oil exploration*. «Photogramm Eng.», t. 13, núm. 2, págs. 275-285.
- BUCHER, W. H. 1944. *The stereographic projection, a handy tool for the practical geologist*. «Jour. Geol.», t. 52, págs. 191-212.
- BÜDEL, J. 1943. *Das luftbild im Dienst der Eisforschung und Eiskundung*. «Zeit. Ges. f. Erdkunde zu Berlin». H. 7/10, págs. 311-345.
- BURCH, J. E. 1947. *Fairchild aerial survey Inc., Cartographic aspects of the airborne magnetometer*. «Photogramm. Eng.», t. 13, núm. 4, páginas 633-639.
- CABOT, E. C. 1947. *The Northern alaskan coastal plain interpreted from aerial photographs*. «Geogr. Rev.», t. 37, núm. 4, págs. 639-648, 9 fots. New York.
- CAILLIEUX, A. 1946. *L'emploi des photographies aériennes dans les recherches géologiques*. «Congr. Nat. Aviat. Française». Rapport número 41 bis, pag. 219.
- CAMERON, H. L. 1950. *The use of aerial photography in seaweed surveys*. «Photogramm. Eng.», t. 16, núm. 4, págs. 493-501.
- — *Abstract of air-photointerpretation in mining and engineering geology in Canada*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 3, págs. 458-459.
- CHOMBART DE LAUWE, E. 1948. *La découverte aérienne du monde*. «Horizons de France». Paris.
- — 1951. *Photographies aériennes*. Lib. A. Colin. Paris.
- CIZANCOURT, H. DE. 1947. *Quelques problèmes de tectonique géométrique*. «Rev. Inst. Fr. du Pétrole», t. 2, núm. 2, págs. 81-98; núm. 3, págs. 141-150.

- COLWELL, R. N. 1952. *Photographic interpretation for civil purposes*. «Manual of Photogrammetry», cap. XII, págs. 535-602, 2.ª ed. Univ. Calif.
- — 1952. President of Commission VII, U. S. Naval Photointerpretation Center. *Photographic Interpretation*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 3, págs. 375-400.
- COTTON, L. A. & GARRETY, M. D. 1945. *Use of Stereographic projection in solving problems in structural and mining geology*. «Geological Bull.», núm. 2. North Brooken Hill Ltd.
- DALMAN, G. 1925. *Hundert deutsche Fliegerbilde aus Palästina*. «Schr. Deutsch. Palästina-Instituts». 2 Bd, 158 págs., 100 fots. Gütersloh.
- DE BLIEUX, C. 1949. *Photogeology in Gulf Coast exploration*. «Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.», t. 33, págs. 1250-1259.
- DESJARDINS, L. & HOWER, G. S. *A technique for geologic, topographic and structural mapping from aerial photographs*. «Publ. priv. Aero Exploration, Co.», Tulsa.
- DIETZ, R. S. 1947. *Aerial photographs in the geological study of shore features and processes*. «Photogramm. Eng.», t. 13, págs. 537-545.
- DIRMEYER, R. D. 1945. *Military applications of photogeology*. «Military Eng.», t. 37, págs. 392-397.
- EARDLEY, A. J. 1942. *Aerial photographs. Their use and interpretation*. 203 págs. + XIX. 46 pl. Harper & Brothers. New York-London.
- ELIAS, M. M. 1952. *Abstract of use of aerial photo-interpretation for air-field engineering*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 3, págs. 459-460.
- FITCH, A. A.; CHRISTIE, D. F.; JOHNSTONE, W. E. & WHITTLE, G. 1949. *Aerial photography in petroleum and mineral prospecting*. «Fourth Empire Mining and Metallurgical Congress Great Britain». Jul.
- FRIJTAG DRABBE, C. A. J. VAN. 1948. *Het lezen en interpreteren van verticale luchtfotos*. «Tijdschr. Ned. Aardrijkskundig Genootschap.» 3 Ser., t. 65, págs. 452-462, 20 fot. aéreas.
- FRIJTAG DRABBE, C. A. J. VAN. 1951. *Aerial photographs and photo interpretation*. Delft.
- — 1952. *Interpretation de photographies aériennes en Hollande*. «Rapp. Com. Util. Phot. Aér.», Congr. Intern. Géogr. Washington. UNESCO, pag. 37. Paris.
- — 1952. *Des faits nouveaux dans le domaine de la stéréoscopie de la vision binoculaire*. «Rapp. Com. Util. Phot. Aér.», Congrès Intern. Géogr. Washington. UNESCO, pag. 14. Paris.
- FROST, R. E. & WOODS, K. B. 1952. *The airphoto-interpretation program of research and instruction at Purdue Univ.* «Photogramm. Eng.», t. 18, págs. 701-719.
- GANDILLOT, J. 1954. *La photographie aérienne au service de la géologie*. «Bull. Soc. Géol. Fr.», 6ème. sér., t. 4, págs. 45-50. 2 pl.
- — 1955. *La photographie aérienne appliquée aux recherches géologiques*. Thèse, Univ. Paris. 1 vol., 271 págs., 68 fot. aéreas.

- GILL, D. 1932. *Aerial survey in relation to economic geology*. Int. Mining and Metallurgy. Preliminary paper, págs. 2-48.
- GODDARD, G. W. 1949. *La reconnaissance aérienne subit des changements fondamentaux*. «Signals». U. S. A. Janv. Févr.
- GUTKIND, E. A. 1952. *Our world from the air. An international survey of man and his environment*. Brit. Inst. of Sociology. 1 t. 400 fotos aéreas. New York.
- HAGEN, TONI VON. 1950. *Wissenschaftliche Luftbild-Interpretation*. «Geogr. Helvetica», t. 5.
- HALL, W. 1952. *Abstract of aerial photo-interpretation in water and snow inventories*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 3, págs. 455-456.
- HELBLING, R. 1935. *Application de la photographie aérienne pour la construction des cartes géologiques*. «Bull. Soc. Belge de Photogrammetrie», págs. 96-110.
- HITTLE, J. E. 1949. *Air photo interpretation of engineering sites and materials*. «Photogrammetric Eng.», t. 15, núm. 4, págs. 589-603.
- HOLDAR, C. G. 1952. *Flyfotografier som hjälpmedel vid glacial-geografiska undersökningar*. «Globen. Arg.», 31, núm. 2, págs. 17-24.
- HORLAVILLE, M. 1951. *Interêt des stéréogrammes aériens dans l'enseignement de la géographie physique*. «Inst. Géographique International», t. 15.
- — 1952. *Essai d'observation de l'évolution morphologique des dunes en pays aride au moyen de photos aériennes stéréoscopiques échelonnées dans le temps*. «Rapp. Com. Util. Phot. Aér.», Congr. Int. Géogr. Washington, 1952. UNESCO, págs. 41-43. Paris.
- INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL (France). 1952. *Note sur l'examen stéréoscopique des photos aériennes*. «Rapp. Com. Util. Phot. Aér.», Congr. Géogr. Int. Washington, 1952. UNESCO, págs. 6-13, 8 fot., 1 lám. Paris.
- JOSEPH, J. K. ST. 1945. *Air photography and Archaeology*. «Geogr. Journ.», t. 105, núms. 47-59.
- KESSELI, J. E. 1952. *Use of air photographs by geographers*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 4, págs. 737-741.
- KRAL, J. 1952. *Textbook of aerial geography and geographical utilization of aerial photographs*. «Rapp. Com. Util. Phot. Aér.», Congr. Int. Geogr. Washington, 1952. UNESCO, págs. 29-31. Paris.
- LAYLANDER, P. A. 1952. *How colored aerial photographs make newest ore search method*. Mining World., Jun., págs. 41-42.
- LEE, W. T. 1922. *The face of the Earth as seen from the air*. «Am. Geogr. Soc.», Spec. publ., núm. 4.
- LEVINGS, W. S. 1944. *Aerogeology in mineral exploration*. «Colorado School of Mines». Quaterly, t. 39.
- LINTON, D. I. 1947. *Geography and air photographs*. Geogr. Assoc. Manchester.

- LINTON, D. L. 1952. *Air photographs as tools of geographical research*. «Rapp. Com. Util. Phot. Aér.», Congr. Géogr. Int. Washington, 1952. UNESCO, págs. 17-28.
- — 1946. *The use of air photographs in the teaching of geography*. «Geography», t. 31, págs. 129-134.
- LOBECK, A. K. & TELLINGTON, W. I. 1944. *Military maps and air photographs*. McGraw Hill Book Co. Inc., 1 t. 256 págs.
- LOEL, W. 1938. *Use of aerial photographs in geologic mapping*. «Am. Inst. Min. Met. Eng.», Tech. publ., núm. 890, págs. 1-54.
- LUNDAHL, A. C. y otros. 1950. Symposium. *Information relative to uses of aerial photographs by geologists*. «Photogramm. Eng.», t. 16, número 5, págs. 721-806.
- MACFADDEN, C. H. 1952. *The uses of aerial photographs in geographic research*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 4, págs. 732-737.
- MARTONNE, E., DE. 1948. *Géographie aérienne*. Albin Michel. Paris.
- NOUHUYS, J. J. VAN. 1948. *Geological interpretation of aerial photographs*. «Tijdschr. Kon. Aardrijkskundig Genootschap», t. 65, págs. 701-707.
- OWEN, D. M. 1950. *Deep sea underwater photography and some recent stereoscopic applications*. «Photogrammetric Eng.», t. 16, núm. 3, págs. 387-409.
- PHILLIPS, F. C. 1954. *The use of stereographic projection in structural geology*. 1 vol. 86 págs., 86 figs. Ed. Arnold Publ. Ltd. London.
- PORTILLO, C. A. 1943. *El avión como auxiliar en los estudios geográficos*. «Gea» «An. Soc. Argentina Est. Geogr.», t. 7, págs. 163-183, 13 figs. Buenos Aires.
- PUTNAM, W. C. 1947. *Military geology*. «Photogramm. Eng.», t. 13, número 4, pág. 564.
- RICH, J. L. 1939. *A bird's-eye cross section of central Appalachian Mountains and Plateau: Washington to Cincinnati*. «Geogr. Rev.», t. 29, págs. 561-586.
- ROSCOE, J. H. 1953. *Regional photo interpretation series*. Antartica. USA Air Force.
- SAMOLOWITSCH, R. L. 1933. *Die Arktisfahrt des Luftschiffes «Graff Zeppelin» Juli 1931*. «Peterm. Geogr. Mitteil. Ergänzt», núm. 216.
- SCHMIDT, E. F. 1940. *Flights over ancient cities of Iran*. Univ. Chicago Press.
- SCHNEEBERGER, W. F. 1952. *Aerial survey and oil exploration, a study in organization*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 4, págs. 753-759.
- SHEPARD, F. P. & EMERY, K. O. 1946. *Submarine photography off the California coast*. «Journ. Geol.», t. 54, núm. 5, págs. 306-321. 80 figs.
- SHEPARD, F. P. 1950. *Photography related to investigation of shore processes*. «Photogramm. Eng.», t. 16, págs. 756-769.
- SIMONSON, R. W. 1952. *Statement panel on accelerated surveying and mapping program*. «Photogramm. Eng.», t. 18, págs. 639-643.

- SMITH, H. T. U. 1941. *Aerial photographs in geomorphic studies*. «Journ. Geomorph.», t. 4, págs. 171-205.
- — 1943. *Aerial photographs and their applications*. New York.
- — 1947. *Symposium of information relative to use of aerial photographs by geologists*. «Photogramm. Eng.», t. 13, págs. 631-628.
- — 1952. *Photo interpretation in applied earth science*. «Photogramm. Eng.», t. 18 págs. 418-428.
- — 1953. *Notes on recent literature relating to photo interpretation*. «Photogramm. Eng.», t. 19, pág. 675.
- — 1953. *Present status of photo interpretation in earth science*. «Photogramm. Eng.», t. 19, págs. 137-143.
- — 1954. *Aerial photographs in Quaternary research*. «Quaternaria», núm. 1, págs. 81-96, 5 figs. Roma.
- SMIT SIBINGA, G. J. L. 1948. *On the geomorphic and geologic analysis and interpretation of aerial photographs*. «Tijdschr. Kon. Ned. Aardrijkskundig Genootschap», t. 65, págs. 692-700.
- STONE, K. H. 1952. *Geographical air-photo interpretation*. «Rapp. Comm. Util. Photo Aér.», Congr. Int. Géogr. Washington, 1952. UNESCO, págs. 32-36. Paris.
- TATOR, B. L. 1951. *Some applications of aerial photographs to geographic studies in the Gulf Coast region*. «Photogramm. Eng.», t. 17, págs. 716-725.
- TEICHERT, C. & FAIBRIDGE, R. W. 1950. *Photo interpretation of coral reefs*. «Photogramm. Eng.», t. 16, págs. 744-755.
- THONNARD, R. L. G. 1954. *Utilisation de la photographie aérienne naturelle en géologie*. «Bull. Soc. Belge de Géol.», t. 63, fasc. 2, págs. 159-188. Bruxelles.
- UNION GÉOGRAPHIQUE INTERNATIONALE. 1952. *Commission pour l'utilisation des photographies aériennes dans les études géographiques*. «Rapport Cong. Int. Géogr.», Washington. 48 págs. Paris.
- U. S. DEPARTMENT OF THE ARMY. 1941. *Advanced map and aerial photograph reading*. War Dpt. F. M. 21-26 Washington. Sept.
- U. S. NAVAL PHOTOGRAPHIC INTELLIGENCE CENTER. 1945. *A guide to Pacific landforms and vegetation for use in photographic interpretation*. «U. S. Nav. Phot. Intell. Center, report», núm. 7. U. S. Navy Dept. Washington.
- WALKER, F. *Geography from the air*. 1 vol., 3 figs., 96 pl.
- WALLACE, R. E. 1950. *Determination of dip and strike by indirect observation in the field and from the aerial photographs*. «Journ. Geol.», t. 58, págs. 269-280.
- WASEM, A. R. 1949. *Petroleum photogeology*. «Photogramm. Eng.», t. 15, núm. 4, págs. 579-589.

EDAFOLOGIA

- AGRICULTURAL RESEARCH ADMINISTRATION. 1951. U. S. Dept. of Agriculture. *Soil Survey Manual*. «Handbook», núm. 18, págs. 71-83. Washington.
- BELCHER, D. J. 1948. *Abstract of aerial photo interpretation in soils and mineral inventories*. «Photogramm. Eng.», t. 14, núm. 4, págs. 453-521.
- — 1948. *Determination of soil conditions from aerial photographs*. «Photogramm. Eng.», t. 14.
- BENNINGHOFF, W. S. 1950. *Use of aerial photographs in mapping vegetation and superficial geology in subarctic regions*. «Photogramm. Eng.», t. 16, págs. 428-429.
- BLACK, R. F. 1952. *Polygonal patterns and ground conditions from aerial photographs*. «Photogramm. Eng.», t. 18, págs. 123-134.
- BRANCH, M. C. 1948. *Aerial photography in urban planning and research*. 1 t., 150 págs. Cambridge.
- BURINGH, P. 1949. *Bodemkundige Vershijselen op de luchtfoto*. «Boor en Spade», t. 3, págs. 48-64.
- — 1953. *The role of aerial photography when drafting schemes for underdeveloped countries*. «Neth Journ. of Agricultural Sc.», t. 1, núm. 4, pág. 251. Wageningen.
- — 1954. *The analysis and interpretation of aerial photographs in soil survey and land classification*. «Neth. Journ. of Agricultural Sc.», t. 2.
- — 1955. *Some problems concerning aerial photo interpretation in soil survey*. «Neth. Journ. Agricultural Sc.», t. 3, núm. 2, págs. 100-105.
- COLWELL, R. N. 1946. *The estimation of ground conditions from aerial photographic interpretation of vegetation types*. «Photogramm. Eng.», t. 12, págs. 151-161.
- EDELMAN, C. H. 1947. *Het gebruik van lucht fotos in de bodemkunde*. Tijdschr. voor Kadaster en Landmeetk., t. 63, y «Boor en Spade», t. 2. Utrecht, 1948.
- EYK, J. J. 1953. *Soil mapping from aerial photographs*. «Photogramm. Eng.», t. 18, págs. 162-166.
- FROST, R. E. & WOODS, K. B. 1950. *Air photo patterns of soils in the Western United States*. Perdue Univ. U. S. Dept. of Commerce Techn. Div., Rep. núm. 85.
- HILLS, G. A. 1950. *The use of aerial phototgraphy in mapping soils sites*. «Forestry Chronicle», t. 26, págs. 4-37.
- LEWIS, A. B. 1952. *Land classification for agricultural development*. «F. A. O. Development paper», núm. 18. Roma.
- LOMMASON, T. & WALDO, C. E. 1953. *Abstract of interpretation of aerial photographs for range and agricultural inventories*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 3, págs. 454-455.

- LOSEE, S. T. B. 1952. *The applications of photogrammetry to forestry in Canada*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 4, págs. 742-753.
- NICHOLS, D. A. 1932. *Solifluction and other features in Northern Canada shown by photographs from the air*. «Trans. Roy. Soc. Canada» 3.^a ser., t. 26, secc. 4, págs. 267-275.
- PARVIS, M. 1950. *Drainage pattern significance in airphoto identification of soils and bedrocks*. «Photogramm. Eng.», t. 16, págs. 387-409.
- ROBBINS, C. R. 1934. *An experiment in classification of lands with the use of aerial photographs*. «Journ. of Ecology», t. 22, págs. 88-105.
- ROURKE, J. D. & AUSTIN, M. E. 1951. *The use of air photos for soil classification and mapping in the field*. «Photogramm. Eng.», t. 17, págs. 738-747.
- STEPHENS, C. G. 1953. *Soil surveys for land development*. «F. A. O. Agr. Studies», núm. 20. Roma.
- STOECKLER, E. G. 1949. *Identification and evolution of Alaska vegetation from airphotos with reference to soil moisture and permafrost conditions*. Corps of Engineers U. S. Dept. of Army. St. Paul. Minn.
- STONE, K. A. 1948. *Aerial photographs interpretation of natural vegetation in the Anchorage area, Alaska*. «Geogr. Rev.», t. 38, págs. 465-474.
- TROLL, C. 1939. *Luftbild und Oekologische Bodenforschung*. «Zeitschr. Gesell. Erdkunde zu Berlin», t. 7-8, págs. 241-298.
- — 1944. *Strukturboden, Solifluction und Frostklimate der Erde*. «Geol. Rundschau», t. 34, págs. 545-604.
- TRUESDELL, P. E. 1952. *Abstract of the military problem of vegetation and terrain analysis by air photointerpretation*. «Photogramm. Eng.», t. 18, núm. 3, págs. 462-463.
- VLAM, A. W. 1947. *Aardrijkskunde uit de lucht*. «Boor en Spade», t. 2. Utrecht.
- WEICKMANN, L. 1932. *Beobachtung von Strukturböden während der Polarfahrt des «Graf Zeppelin» juli 1931*. «Berl. Sächs. Ak. Wiss., Math. Phys. Kl.», t. 84, págs. 121-122. Leipzig.

FOTOGRAFIA AEREA EN ESPAÑA

- CABANÁS, R. 1956. *El cursillo de cartografía de la Universidad de Oviedo*. Reseña, págs. 166-168, de la conferencia de clausura por D. SOLÉ SABARIS, sobre *La importancia de la fotografía aérea en la formación del mapa geológico*. «Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.», t. 53, ser. geol. págs. 159-174. Madrid
- FLORISTÁN SAMANES, A. 1951. *La ribera tudelana de Navarra*. 1 vol. C. S. I. C. Inst. «Príncipe de Viana», 316 págs., 53 láms., 40 figs. Zaragoza
- FONTAVELLA, V. 1952. *La huerta de Gandía*. Inst. «J. S. Elcano». C. S. I. C. 1 t., 404 págs. 46 figs., 121 fotos. Zaragoza.

- GAVALA Y LABORDE, J. y RÍOS GARCÍA, J. M.^a 1955. *Actividades de la Empresa Nacional «Adaro» y la Comisión de Investigaciones Petrolíferas «Valdebro» en la investigación de hidrocarburos.* NOT. Y COM. INST. GEOL. MIN. ESP., núm. 38, págs. 121-178, 18 figs.
- GÓMEZ DE LLARENA, J. 1950. *Datos para la historia de la ría de Pasajes.* «Est. Geogr.», año 11, págs. 501-513, 7 figs.
- 1955. *Geografía física.* Ed. Labor Barcelona.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 1955. *Las nuevas ediciones del Mapa Geológico de la Península Ibérica a escala 1:1.000.000 (1952-1955) publicadas por el Instituto Geológico y Minero de España.* «Mem. Inst. Geol. Min. Esp.», t. 56, pág. 42. Madrid.
- MARTÍN CARDOSO, G., PARGA PONDAL, I. y LÓPEZ DE AZCONA, J. M. 1953. *Memoria y Hoja núm. 44, «Carballo», del Mapa Geol. Esp., escala 1/50.000.* 100 pp., 32 figs., 9 grab., 3 fotos aéreas, 1 lám. col.
- MARTÍNEZ CAJÉN, P. 1955. *El Catastro en España.* Conf. 16 junio 1955. Inst. Geogr. Cat. Un folleto de 36 págs. Madrid.
- PARGA PONDAL, I., LÓPEZ DE AZCONA, J. M. y MARTÍN CARDOSO, G. 1953. *Mem. y hoja núm. 43, «Lage», del Mapa Geol. Esp. escala 1/50.000.* 76 págs., 26 fotos, 3 fotos aéreas, 3 figs., 1 lám. col. Madrid.
- RÍOS, J. M. 1955. *Marcha de las investigaciones del petróleo en España.* «Combustibles», año 14, núms. 78-79. Madrid.
- RODRÍGUEZ VALDERRAMA, L. 1955. *El mapa y la fotogrametría en España.* Conf. 23 jun. 1955. Inst. Geogr. Cat. Un folleto de 28 págs. Madrid.
- SOLÉ SABARÍS, L. 1955. *Reseña y comentarios sobre la obra de E. de Martonne, «Géographie aérienne».* «Est. Geológicos», t. 11, núms. 27-28, págs. 475-476.

En torno a las teorías de los granitos

POR

LUIS C. GARCIA DE FIGUEROLA

EN TORNO A LAS TEORIAS DE LOS GRANITOS

Durante los últimos veinte años la bibliografía sobre el granito ha adquirido un gran desarrollo. Se puede considerar dividida en dos grupos en cuanto al contenido de los trabajos: Uno estaría integrado por las notas descriptivas locales que terminan con una interpretación sobre el origen partiendo de una determinada teoría y de las observaciones obtenidas. El otro lo integran las obras teóricas cuya tesis fundamental es precisamente demostrar la validez de un punto de vista dado. En general, parten de datos locales, y las deducciones son enseguida generalizadas. Entre estas últimas existen obras especiales, de gran mérito, con la intención de buscar soluciones adecuadas a la gran controversia que ha venido sucediéndose: trabajos de Eskola (7), Barth (2), Niggli (17), Perrin y Roubault (20), Reynolds (28), Bowen (5), Backlund (1), etc., y, sobre todo, Read (26) y Rastall (25), son buenos ejemplos, tanto como paladines de algunas teorías, como de estudios comparativos, entre unas y otras. Destacamos los dos últimos por ser quizá los primeros que de una forma clara se manifestaron por la idea de distintas génesis para el granito.

La controversia surgió hace algunos años entre las hipótesis magmatistas y las llamadas transformistas, pero unas y otras han evolucionado rápidamente, y hoy no se pueden establecer diferencias muy profundas entre algunos puntos de ambas. Por otra parte, los defensores del transformismo, si bien de acuerdo en líneas generales, discrepan en

cuanto a detalles de tal transformación ofreciendo diferentes soluciones del problema. Probablemente tienen en cuenta datos sobre diferentes granitos, y el mérito de Read, Rastall y otros, se basa precisamente en haber comprendido estas diferencias.

El gran ataque de los transformistas apareció ante la acumulación de datos de campo y laboratorio tales como los siguientes :

- 1) El llamado problema del espacio.
- 2) La semejanza entre minerales (principalmente feldspatos) de las rocas encajantes y de los granitos.
- 3) La desproporción volumétrica entre las rocas ácidas profundas y las basálticas.
- 4) La transición química lenta entre las graníticas y las metamórficas próximas.
- 5) La falta de verdaderas aureolas de metamorfismo en algunos batolitos.

Que son hechos que nos abstenemos de exponer en detalle, por ser citas frecuentes en todos los tratados modernos sobre la materia, pero que son difíciles de aclarar desde el punto de vista magmático tradicional. De aquí que muchos petrógrafos hayan abrazado decididamente las nuevas ideas.

Sin embargo, parece extraña la posición simplista de no admitir la intrusión en masa sin aportar alguna solución positiva. El escudarse en las palabras poco definidoras de *granitización* o *transformismo* para un estudio local, no puntualiza mucho la cuestión, pues existen algunas hipótesis que pueden satisfacer unos hechos u otros. El confusionismo es evidente, sobre todo para los geólogos menos especializados en petrogénesis, que pueden preguntarse : Si éste y aquél granito no se han producido por un magma intrusivo. ¿cómo se originaron? La respuesta : por granitización o por transformismo es un tanto vaga.

Por esto nos ha parecido interesante exponer resumida-

mente las hipótesis que hasta el momento conocemos sobre la cuestión, y que se puede enumerar así :

Origen por metasomatismo.

Origen por fusión de las rocas preexistentes sin movilidad ascendente.

Origen intrusivo.

Origen por diferenciación «in situ» y al estado sólido.

Podrían considerarse como los casos extremos, pues es probable que en la naturaleza los granitos se formen mediante la intervención de más de uno de estos procesos. Quizás es el motivo por el que algunos emplean los vocablos indicados antes, y en este sentido conviene hacer una distinción entre ambos. Aunque cualquiera de ellos lleva a la formación del granito, «granitización» debe reservarse únicamente para los dos primeros, y quizás para una parte del tercero, mientras que «transformismo» debe quedar reservado para el último proceso indicado.

Fué a partir de la obra de Read (26) cuando se comenzó a considerar el granito como el estado al que se puede llegar por distintos caminos. En el campo de la estabilidad de la corteza terrestre, es probablemente una de las rocas más estable para profundidades de 600 m. a 6 Km. (23) y se origina en cuanto las condiciones de composición química le son propicias. A tal composición se puede llegar por distintas vías, y en esencia, las hipótesis numeradas antes no son más que diferentes formas de alcanzarla.

La obra de Rastall (25) publicada, ya hace más de 10 años, con un criterio de miras completamente abierto, consideró igualmente distintos nacimientos al mismo tiempo que indicaba algunas diferencias observables. Estableció que las grandes extensiones del precámbrico granítico que van acompañadas de zonas de neis deben de haberse originado por metasomatismo ; los batolitos y núcleos colocados en los pliegues de las cadenas montañosas, por fusión de los elementos del geosinclinal ; y las pequeñas masas en forma de di-

ques, sill, stock y lacolitos, mediante inyecciones de magmas en condiciones líquidas. Vienen a ser similares a los tres casos enumerados antes, aunque como se verá, su localización en el desarrollo de un plegamiento no concuerdan perfectamente.

Veamos a continuación estas distintas hipótesis, añadiendo algunos de los caracteres que deben presentar los granitos. Es oportuno aclarar que partimos exclusivamente de la teoría.

Origen metasomático.

En el supuesto de que cualquier «roca real» esté constituida por una fase cristalina y otra dispersa, y que esta última puede tener cierta movilidad, el concepto de metasomatismo puede admitirse dentro de la lógica: bastará que la fase dispersa se vea aumentada por elementos venidos de fuera, originando un desequilibrio y dando lugar a un cambio en la fase cristalina.

Tenemos pruebas bien claras de que tales cambios existen en escala microscópica como son por ejemplo las formaciones rítmicas de algunos minerales de rocas francamente metamórficas. Su extrapolación a unidades geológicas o cuando menos petrográficas, parece que puede admitirse y ha dado buen resultado en la interpretación de ciertos fenómenos tales como el retromorfismo y el metamorfismo progresivo en el que no hay discontinuidad en la variación de la composición química. Ya de antiguo los puramente magmáticos admitían tal proceso, mediante fluidos escapados de los centros en fusión, para explicar las formaciones neísicas que envuelven a los granitos.

El término de metasomatismo fué empleado por primera vez por Keilhau (14), y la idea del ichor (*) de Sederholm

(*) Creo que el término *ichor* se debe usar en castellano, puesto que proviene de una voz griega. *χυμα* = linfa, sangre de los dioses.

(30) igualmente que la de la *mancha de aceite* de la escuela francesa, pueden considerarse como un tipo especial de metasomatismo, en el cual los elementos introducidos son de quimismo granítico.

Si el concepto de metasomatismo parece de fácil comprensión, se presentan en cambio muy confusas y con difícil aclaración dos preguntas fundamentales ligadas con él: qué camino siguen los elementos y en qué forma viajan. Barth (3) y Rosenqvist (29) han discutido ampliamente si se efectuaba por vías determinadas y con un vehículo portador o por simple difusión. Recientemente Hietanen-Makela (13) establece que el camino seguido puede ser según las roturas y los planos de las rocas si hay un elemento portador, o por iones que se mueven por difusión en el líquido intersticial, así como a través de las redes cristalinas. El alcance de cada uno de estos métodos de transporte es desde luego muy diferente, y en un proceso metasomático en el que actúen los tres, es presumible que el primero llegue a puntos más distantes y de forma más rápida. Lo que puede ser una explicación lógica a la presencia de gran número de filones graníticos, así como la de neis de inyección junto a los batolitos y otras formaciones graníticas. Es curioso que, al igual que en la génesis del granito, aquí nos hayamos visto obligados a admitir distintos procesos capaces de dar el mismo resultado final.

Admitiendo las tres, su forma de actuar sería sucesiva, iniciándose una invasión por «canales» (roturas, planos de exfoliación, etc.), de donde partirían los iones caminando por otras aberturas menores, más tarde por entre el mosaico cristalino y, por último, también a través de las redes de los elementos preexistentes. Algo similar al transporte del oxígeno en un ser vivo que es capaz de llegar a los rincones más apartados del organismo (4).

En el primer aporte sería necesaria la presencia de un vehículo, mientras que en los otros dos, los iones se moverían

por sí solos actuando la roca de forma selectiva, al igual que una membrana semipermeable (24).

La introducción de determinados cationes puede llevar emparejado el desplazamiento de otros, capaces a su vez de producir en las proximidades fenómenos de metasomatismo de signo contrario. Esto sería precisamente la formación de frentes básicos con culminaciones geoquímicas de los elementos expulsados, según el concepto de Reynolds (27). También se podrían interpretar de esta forma las grandes áreas de basificación que suelen aparecer sobre las granitizadas (zonas de las micacitas y anfíbolitas).

Más adelante, cuando hablemos de las transformaciones al estado sólido por diferenciación, volveremos sobre el mismo aspecto.

El hecho es que los elementos metasomáticos transforman la roca en granito, y dado que en general los sedimentos de los geosinclinales presentan un exceso de constituyentes félicos y un déficit, sobre todo de álcalis, hemos de suponer que el aporte es principalmente de estos cationes últimos. El origen de los mismos es muy oscuro y parece lógico admitir una fuente extrageosinclinal (a partir de magmas?) pues no es probable que los mares cámbricos, donde se han originado los sedimentos mejor granitizados que se conocen, tuvieran una salinidad tan elevada como para dar lugar a la formación de evaporitas alcalinas y que estas quedaran luego a grandes profundidades. La fijación de algunas cantidades de álcalis, y principalmente potasio, en las arcillas sedimentarias, puede tener una relativa importancia. De todas formas, no se pueden admitir un ciclo de estos elementos reducidos al juego cratógeno-geosinclinal, pues hay un efectivo aporte más profundo mediante las lavas de rocas básicas que proporcionan a la superficie de la litosfera algunas cantidades de álcalis.

Otro aspecto opuesto hasta cierto punto al anterior, sería si en lugar de un aporte alcalino sobreviene una expulsión de

los elementos basificantes (Ca, Mg, Fe..) con lo que el sedimento primitivo queda enriquecido en tantos por cientos de Na, K, Si, Al. Esto daría lugar a una pérdida de peso en la roca permitiéndola una movilidad diapírica a través de las próximas más densas por acumulación de los félicos. El fenómeno no tiene verdadera explicación en el caso de cuarcitas y calizas puras que, según la escala dada por Barth (4), no son tan difícilmente granitizadas por metasomatismo como las rocas básicas:

Pizarras micáceas → Cuarcitas → Calizas → Rocas básicas → Depósitos minerales.

Parece que los petrólogos se inclinan más por una invasión metasomática a base de álcalis que en casos determinados va acompañada por la sílice, el aluminio y otros.

La movilidad de la fase dispersa puede sobrevenir en cualquier momento, pero su intensidad será proporcional a los esfuerzos tectónicos, ya que las presiones laterales ayudan a la migración del «ichor». De aquí se sigue que los granitos de palingénesis son eminentemente sintectónicos o postectónicos inmediatos. La última suposición la establecemos porque la onda de migración ha de ser más lenta que el hecho tectónico.

El primer período de granitización estaría gobernado por un aporte mediante flúidos portadores y en consecuencia tendería a actuar con mayor energía hacia los pliegues en anticlinal, de forma un tanto parecida a lo que sucede con el petróleo. Los sintectónicos aparecerán concordantes a grosso modo con los pliegues, mientras que en palingénesis tardías tal fenómeno puede desaparecer y los batolitos adquieran formas más redondeadas.

Cuando son concordantes, los flúidos del primer período habrán ascendido más fácilmente siguiendo la pizarrosidad, y los flancos de la formación pueden aparecer sumamente verticales. Algunas supuestas fallas en los bordes de

masas graníticas, necesarias para explicar la falta de metamorfismo de contacto tendrían aquí una explicación. Los límites netos o casi netos pueden originarse por paralización del aporte por flúidos, seguido de un período tranquilo en el cual se ha granitizado el área comprendida entre los filones, pero por ser de carácter mucho más local no ha avanzado, o si lo ha hecho, es de una forma muy poco difusa.

Las migmatitas más representativas de este caso serían las embrechitas con mayor desarrollo hacia los extremos de la formación. Igualmente en las partes altas del batolito aún pueden subsistir estructuras arteríticas o verdaderos filoncillos graníticos por haberse congelado antes todo el proceso.

Si la palingénesis actúa en una zona de distintas rocas tenderá a ser selectiva y los límites granitizados presentarán entrantes más o menos acusados de acuerdo con la intensidad del fenómeno (o mejor dicho, de tiempo que ha durado) y de la escala de granitización indicada antes. Probablemente las distintas formas de producirse el aporte requieren a su vez distintas escalas de rocas.

Como la movilidad del sodio y del potasio es muy grande los granitos palingenéticos serán francamente feldespáticos alcalinos y podrán presentar o no láminas de moscovita primaria. Todo ello siempre que hayan adquirido su verdadero desarrollo. De la abundancia feldespática es una muestra clara las formaciones pegmatíticas difusas. El proceso es extraordinariamente lento por lo que las estructuras cristalinas tienden a alcanzar buenos tamaños dentro de los límites ponderados de su especie y del aporte. Por esto los elementos mayores son los feldespáticos, que es frecuente incluyan otros como, por ejemplo, las micas o el cuarzo, siendo un buen método de estudio las ordenaciones de estas inclusiones y su continuación fuera del cristal. La estructura de estos granitos será eminentemente porfídica.

La ordenación de los fenocristales en sentido paralelo

es un hecho frecuente que desde antiguo ha llamado la atención, y dentro de las estructuras batolíticas supuestas directamente magmáticas se han considerado como un indicio del flujo magmático que habría orientado los cristales en el mismo sentido de la corriente: Los fenocristales podrían estar ya constituidos antes de la ascensión. En los casos en que estos fenocristales se ordenan paralelamente a los límites del batolito y en sentido horizontal, sería preciso admitir que el magma había girado en rotación sobre sí mismo en lugar de hacerlo por corrientes ascendentes. Considerándolos formados por un aporte, el mayor desarrollo sería perpendicular a las presiones. Es decir, paralelo a la pizarrosidad, igual que los grandes porfidoblastos de los neis glandulares sintectónicos.

Las facies en que pueden originarse los granitos de palingénesis quedan limitadas en altitud por las anfibolitas con albita y epidota, pues con las presiones y temperaturas características de las mismas no parece que se formen las plagioclasas, y si sobreviene un aporte de elementos granitizantes, aparecerán pizarras albíticas o neis albíticos, según la teoría que poseemos de los grados metamórficos. Por otro lado, a esas temperaturas tan bajas, la movilidad de los elementos debe ser mucho menor. Anotemos, sin embargo, que Misch (16) describe casos de granitización en la base de esas facies.

La moscovita, tan frecuente en algunos granitos españoles, indica un grado relativamente bajo de metamorfismo o su origen posterior a partir de la biotita o los feldespatos con el consiguiente fenómeno de retromorfismo. Serían sumamente interesantes los estudios en este sentido, así como los dedicados a los granitos constituidos exclusivamente por moscovita, aunque esta mica es estable en las facies anfibólicas, sobre todo en presencia de un exceso de potasio. Parece lógico admitir que la temperatura inferior a que se pueden originar los granitos de palingénesis sería

la de 350° aproximadamente. Su límite superior es más complejo, ya que a grandes profundidades la anatexia se debe superponer y confundir con la palingénesis.

Se puede intentar establecer el límite mediante la menor temperatura necesaria para la anatexia. Si es verdad que el punto eutéctico de una masa de composición granítica se alcanza entre los 800 y 900 grados, los minerales fundidos deben estar a mayor T. Pero, sin embargo, un fuerte contenido en agua y otros volátiles puede bajar grandemente la temperatura hasta las proximidades de los 550°. Es decir, la temperatura a que dan comienzo el desarrollo de las facies de las granulitas. Por lo tanto, la palingénesis pura puede dar granitos en el intervalo de la T comprendido entre los 350 y 550 grados aproximadamente. Quizá algunas masas graníticas de poco tamaño y envueltas por neis puedan haberse formado aun a temperaturas algo más inferiores, como son, por ejemplo, los granitos que describe Laporte (15), si bien este es un caso poco común, pues están constituidos por cuarzo albita y epidota que corresponden a las facies de las anfibolitas con albita y epidota, con una temperatura algo superior a los 300°.

En el tramo de temperatura indicado debe encontrarse quizá el paso de microclina a ortosa, pero no se conoce bien la curva de P-T entre una forma y otra del feldespató potásico. Quizás todo o casi todo el intervalo sea más propicio a la microclina.

Algunos granitos, en lugar de micas contienen otros elementos féficos, siendo los mejor representados los anfibólicos. La horblenda verde es perfectamente estable en el campo de P-T de las facies anfibólicas y en las de las anfibolitas con albita y epidota, viniendo condicionada su aparición por las cantidades de calcio, así como por las relaciones del magnesio al hierro, pues si ésta es muy elevada aparecen los piroxenos ortorrómbicos, también estables a bajas temperaturas. Hay que suponer que el proceso

metasomático ha actuado sobre rocas especiales que presentaban, entre otras, la condición de ser muy ricas en calcio. Serían entonces más bien facies locales del granito palingenético, que probablemente son al mismo tiempo relativamente pobres en cuarzo libre, ya que este elemento se mueve más despacio que los álcalis.

La egrina es un mineral de una T superior a las indicadas y probablemente los granitos egrínicos no se han formado por una simple palingénesis. De todas formas, la bibliografía sobre granitos piroxénicos es bastante reducida y no permite especular sobre el particular.

Surge la pregunta de si las masas sieníticas que aparecen en los bordes de las formaciones graníticas son a su vez de origen palingenético representando el frente alcalino que ha llegado algo más lejos que el silicio y sobre rocas abundantes en calcio. ¿Y los gabros? Hasta el momento los datos de campo sobre las relaciones de estas rocas con los granitos claramente palingénisis que poseo son verdaderamente escasos y es muy aventurado juicio alguno. Recordemos, sin embargo, que la esfena, tan frecuente en las sienitas, disminuye su campo de estabilidad cuando aumenta la presión y la temperatura en presencia de otros minerales féficos.

Es bien conocido que muchos de estos granitos presentan pegmatitas más o menos difusas, lo que es comprensible dada la gran cantidad de elementos cuarzofeldespáticos, tanto en la fase cristalina como en la dispersa, permitiendo una diferenciación metamórfica simultánea o posterior hacia determinados puntos: por ejemplo, hacia disminuciones locales de la presión (9).

Resumiendo todo lo dicho anteriormente, y siempre dentro de la teoría, y como casos clásicos, los granitos de palingénesis tenderían hacia los extremos siguientes:

Carácter cuarzofeldespático dominante.

Plagioclasas de bajo contenido de anortita.

Estructura porfídica bien manifiesta.

Inclusiones ordenadas de unos minerales dentro de otros.

Sin metamorfismo de contacto en sus bordes ni fuertes dislocaciones en la cobertera.

Encajados en las facies de las anfibolitas con albita y epidota (parte más profunda) o en las anfibólicas.

Sintectónicos o postectónicos inmediatos.

Ocupando grandes áreas asociados con neis, micacitas, etcétera, y otros granitos, o concordantes *a grosso modo* con los pliegues tectónicos.

Frecuente aparición de la moscovita primaria, así como la microclina.

Las migmatitas mejor representadas en sus proximidades (sobre todo en los extremos más agudos y en el techo) son las de estructura arterítica.

Cuando se desarrollan sobre calizas pueden presentar las micas sustituidas por la horblenda.

Enclaves marginales de la roca encajante.

Origen por fusión sin movilidad ascendente

La idea de una fusión de los elementos de una geosinclinal cuando alcanzan una cierta profundidad, y en consecuencia aumenta la T , es un principio simplista y a la vez atractivo. El equilibrio *fase sólida-fase dispersa* se rompería ampliamente en beneficio de la última, llegando a ser verdaderamente dominante. En realidad, el proceso debe sobrevenir con una complejidad de hechos que desconocemos.

Muchos autores admiten que se produce con ayuda de un aporte externo, es decir, metasomático, pues razonan que por una simple fusión la composición química de la roca resultante sería similar a la original, y aquí volveríamos a plantearnos todas las cuestiones indicadas antes para la pa-

lingénesis. Otra suposición podría admitir la fusión de *todos* los elementos profundos de un geosinclinal, con lo que se obtendría una composición similar a la del granito. Varias objeciones se le pueden poner: La diferenciación geoquímica de la corteza terrestre es cada vez más sílica, con lo que las sedimentaciones primitivas debieron de ser más distantes, químicamente hablando, que las actuales. El zoneamiento de los geosinclinales. El retraso de la sílice en el arrastre sedimentario. La superficialidad de algunos depósitos, como los salinos, etc. Por otra parte, un gran volumen de elementos del geosinclinal permanecen al margen del fenómeno; una parte de ellos sin siquiera metamorfizarse y otra transformándose en rocas metamórficas bastante más félicas que el granito (micacitas, anfibolitas, neis, etc.).

La fusión (con o sin aporte) no sería un acto único, sino que comenzaría por ciertos minerales y se iría propagando a los demás según se fueran acercando las condiciones del medio a su punto de fusión. Desde la iniciación del fenómeno hasta su fusión total, podrían producirse diferenciaciones espaciales, dando lugar a una anatexia parcial formadora de las anatexitas migmatíticas.

Así como en la palingénesis la granitación sobreviene principalmente por un cambio químico, en la anatexia la variable más importante es la temperatura con o sin cambio del quimismo. Dado que la elevación de la temperatura necesaria para este fenómeno se alcanza con la profundidad, debemos admitir también variaciones de la presión en signo positivo, aunque probablemente su efecto sobre el fenómeno granitizante sea en parte opuesto al de la T . Cuando un mineral alcanza su punto de fusión, los potenciales químicos de sus fases cristalina y dispersa son idénticos. Una elevación posterior de la T desequilibra el sistema en beneficio de la última, que es más estable. Si la variable que aumenta es la presión, el potencial químico de cada fase varía propor-

cionalmente a su volumen molar. La ecuación de Clasius Chapeyron establece las relaciones entre ambas magnitudes

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta h}{T \Delta v}$$

en la que Δh es el calor de fusión y Δv la diferencia entre los dos volúmenes molares.

Uno de los aspectos más interesantes y al mismo tiempo peor conocido, tanto en el metamorfismo de profundidad como en la anatexia, es la fuente de calor capaz de originar las transformaciones. Teniendo en cuenta el grado geotérmico solamente a profundidades próximas a los 40 Km., se pueden alcanzar las temperaturas de los 550°, que como indicábamos antes es el límite que se supone para la fusión de masas de quimismo granítico en presencia de CO₂, H₂O, etcétera. Esta profundidad parece excesiva para que sea alcanzada por los sedimentos y nos vemos forzados a admitir una fuente térmica sobre la que caben distintas posiciones. Turner y Verhoogen (33) resumen distintas opiniones y discuten detenidamente el problema.

Partiendo de la idea ya clásica de Wegmann (34), que distingue en las cadenas montañosas la zona de la superestructura o de los terrenos sedimentarios no metamorfizados y la zona de la infraestructura o de las migmatitas, separadas por una región de paso más o menos potente en la que se desarrollan los fenómenos metamórficos no anatécicos, nos encontraríamos en ese tránsito los granitos de palingénesis pura, mientras que en la infraestructura estarían los de anatexia. Probablemente una distinción entre ambos puede ofrecer dificultades, existiendo pasos insensibles de uno a otro según aumenta la profundidad. La anatexia es un proceso más amplio, espacialmente hablando, hasta el punto de que ha sido considerada como un fenómeno planetario más vasto todavía que el tectónico, de forma que podrían originarse granitos de anatexia aún sin que sobrevenga

una orogenia. De todos modos, encontramos cierta coincidencia entre ambos, faltando por deducir si la anatexia favorece a la tectónica o ésta a aquélla. En el primer caso, la constitución química del granito puede que se haya alcanzado antes del momento tectónico, pero tal estado sería líquido o pastoso, pero no como roca sólida, por lo que no se pueden considerar estos granitos como pretectónicos.

Admitido su origen por fusión, es probable que encontremos una cierta estratificación entre sus partes debido a diferencias en los distintos sedimentos. Es hacia los bordes de estas masas graníticas donde mejor se puede notar esta estratificación, pues la fusión puede no haber sido muy completa. Serían los granitos *bandedados*. En su proximidad deben de aparecer zonas bien desarrolladas de migmatitas, presentando estructuras anatécicas los términos más próximos al granito y sin solución de continuidad con él. No debemos encontrar inmediatamente ligadas a la roca granítica estructuras agmatíticas, que son más significativas de las intrusiones en masa o del primer período del aporte palingénético.

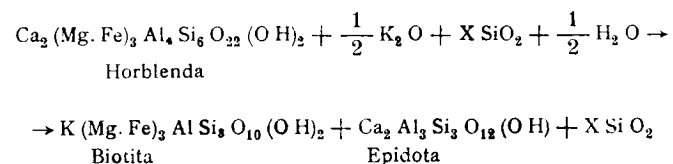
A partir de sedimentos pelíticos los granitos de anatexia serán melanocráticos, de tendencia cuarzodiorítica y con relativo bajo contenido en álcalis. Si su formación comienza entre los 550 y 600 grados, la mineralogía estará exenta de moscovita primaria, así como de horblenda verde y de microclina, que debe estar sustituida por la ortosa.

En cuanto a su estructura, debemos de pensar en una bastante equigranular, ya que el porfirismo granítico lleva emparejada una formación a menor presión y temperatura.

Las facies metamórficas que los limitan o incluyen, corresponden a la parte inferior de las anfibólicas y a toda el área de las granulitas. La aureola migmatítica estará bien desarrollada, como hemos dicho antes, y su mineralogía, tanto del *metasome* como del *paleosome*, serán las correspondientes a dichas facies. De acuerdo con el equilibrio mine-

ralógico en el campo de presiones y temperaturas, en este paleosome, si hay silicatos aluminicos, estarán representados por la silimanita, mientras que en las migmatitas ligadas a los granitos de palingénesis puede venir sustituida por la cianita o la andalucita.

El campo de estabilidad de la horblenda disminuye paulatinamente por encima de los 500° (bajo la influencia de la concentración de Fe y Ti), de forma que pocas veces se encuentra más allá del límite de las facies anfibólicas. Es en extremo curioso que aun dentro de éstas, su sustitución por la biotita va determinada por un exceso de potasio según la ecuación (24)



y ésta sería una buena explicación a la presencia de numerosas acumulaciones de epidota dentro de la biotita de gran número de granitos españoles y que tiene difícil aclaración desde el punto de vista de un probable aporte cálcico a las redes de la mica, pues entonces se localizaría hacia los bordes de las láminas y no en la parte más interna, como sucede en la mayoría de los casos. Así resultaría que los granitos con estas asociaciones de biotita-epidota serían originariamente rocas anfibólicas sobre las que actuó un metasomatismo alcalino intenso acompañado o no de fusión parcial. Un intento del autor para delimitar estos granitos y establecer correlaciones con las rocas encajantes en una zona granítica española no ha dado resultado positivo por la extraordinaria cantidad de preparaciones que se requieren.

La estructura pertítica y antipertítica se da frecuentemente en las facies de las granulitas. Parece por lo tanto lógico que los granitos formados en condiciones similares

de P-T puedan también presentarlas. Sin embargo, estos últimos han estado fundidos y las granulitas son rocas metamórficas sin fusión. La diferencia es fundamental y quizás estas estructuras, así como las pegmatíticas, si aparecen, en los granitos sean de formación posterior.

Resumiendo al igual que en el caso anterior, podremos decir que en teoría la anatexia da lugar a granitos con los siguientes caracteres :

Bordes de la formación difusos a través de una zona de migmatitas, dominando en la parte más próxima al granito las anatexitas.

Carácter sintectónico.

Tendencia a granitos zonados con más o menos elementos félicos. En especial, hacia los bordes y parte alta de la formación.

Aspecto equigranular.

Sin bordes de recristalización entre los minerales.

Presencia o no de pegmatitas.

Aparición en la parte más profunda de toda la formación metamórfica y con probable tránsito a los palingénesis en altura.

Eminentemente biotíticos o con piroxenos monoclinicos.

Si hay plagioclasas zonales, cambiarán de dentro a fuera en el mismo sentido que la serie de Bowen.

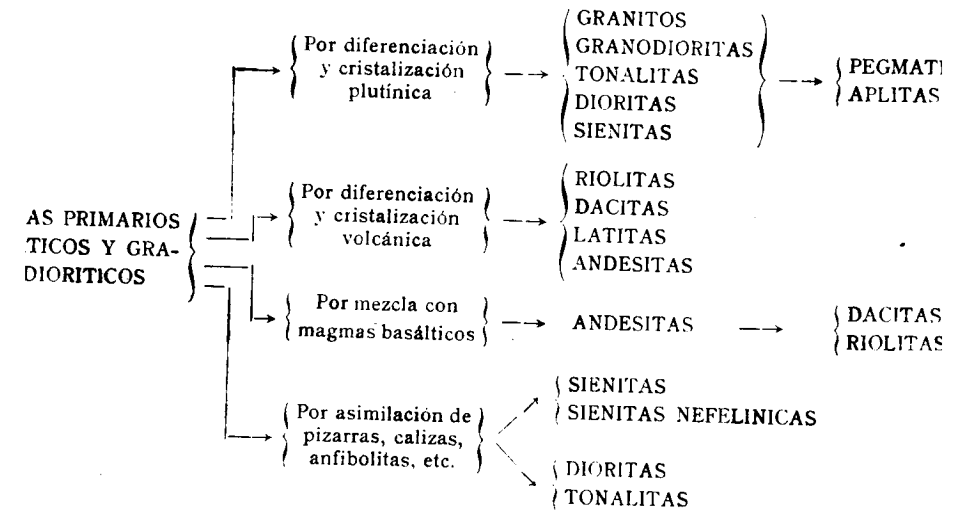
Origen intrusivo

En este tipo han llegado a converger en parte las hipótesis magmática y granitizante. La idea clásica de los primeros suponía la existencia de masas fluidas en el interior de la tierra, independientemente de los sedimentos del geosinclinal, que por diferenciación magmática (sucesivas cris-

talizaciones) y asimilación de las rocas envolventes o encontradas en su camino, adquirirían la composición química del granito. En el caso de que tal ascensión llegara hasta la superficie de la corteza terrestre, cristalizarían (o se solidificarían simplemente) en riolitas o vidrios volcánicos ácidos. Cuando tal fenómeno ocurre en profundidad, cristalizan en rocas holocristalinas formando los plutones y quedando un residuo magmático que daría posteriormente lugar a los filones de pegmatitas, aplitas, etc., que forman parte del cortejo filoniano de los batolitos. La comparación entre efusivas y plutónicas es fundamental en el magmatismo clásico. Pero uno de los hechos peor explicado es la presencia de diques básicos dentro del granito, pues en un magma único éste se diferencia hacia el polo ácido para originar el granito y posteriormente aplitas y pegmatitas aún más ácidas. Los lamprófidos representan una diferenciación básica y posterior a la roca granítica, pues una de las premisas fundamentales en el magmatismo es precisamente que los filones encajados son posteriores a la roca encajante. En el concepto de granitización, y sobre todo en la idea metasomática y de reacciones al estado sólido, tal premisa queda en parte desvirtuada, admitiendo que el proceso metasomático ha sido más intenso en la encajante que en la encajada: así aquella se transformaría en una roca verdaderamente nueva, mientras que ésta seguiría siendo eminentemente la misma y por ende más antigua. En un proceso de reacciones al estado sólido *in situ*, las dos serían simultáneas.

Otra idea magmática parte de la existencia de dos masas fundidas únicas, que por mezcla entre sí darían lugar a los tipos intermedios de rocas efusivas y plutónicas. Más recientemente se admite la existencia de diferentes magmas que evolucionan con independencia, y mediante proceso de cristalizaciones y asimilaciones independientes formarían las rocas plutónicas y efusivas.

En lo referente a los granitos el proceso sería:



que reproducimos de Turner y Verhoogen (33), quienes lo dan como sujeto a revisión por datos futuros.

La pregunta que puede plantearse es la del origen del magma, pues si admitimos que se forma por fusión local de rocas preexistentes en el fondo de los geosinclinales, nos encontramos con una anatexia extrema y móvil y no hay si no volver a las páginas anteriores. He aquí, pues, un encuentro amigable entre parte de los magmatistas y granitizantes. Así parece a simple vista aunque hay algunas diferencias notables, siendo quizás la más importante el punto de mira de los granitizantes sobre la forma de realizarse la intrusión. Puede ser en un estado que no sea completamente fundido, sino más o menos sólido mediante movimientos diapíricos.

No cabe duda que masas graníticas como las del Oeste de Escocia, Montana, etc., que son de edades relativamente recientes, aparecen relacionadas con fenómenos efusivos, in-

cluso de riolitas. Son ejemplos de intrusiones de pequeño volumen y formando sill, stock o lacolitos, que han sido atribuidas a inyecciones líquidas hasta relativamente poca profundidad entre sedimentos que metamorfizan por contacto. Son formaciones graníticas de difícil comprensión, admitiendo un fenómeno diapírico. Igual sucede para otros casos de California.

El concepto del diapirismo granítico fué desarrollado por Wegmann (34), y muy bien recibido por los anatexistas, porque permite explicar la presencia de unos granitos en otros de forma discordante. En concreto, podemos suponerlo como una intrusión de las partes profundas de la anatexia, que tiende a elevarse en la corteza terrestre. La fuerza capaz de actuar en tal sentido sería la menor densidad de la masa movable con relación a la envolvente, y siguiendo a Ramberg (24), la expresión del fenómeno viene dada por la fórmula :

$$\left(\frac{\partial F}{\partial h}\right)_{T,P,X} = Mg$$

donde F es la energía libre, h la distancia vertical, M el peso molar, g la gravedad, T temperatura, p presión y x composición.

Es francamente admisible el diapirismo granítico cuando atraviesa zonas neisicas, anfibólicas o micacíticas, pero si aparece dentro de otro granito, hemos de pensar que la parte alta del dipiro estuvo en un área de neis que luego ha desaparecido por la erosión, o bien el granito intrusivo es mineralógicamente diferente al que lo incluye. Otra suposición sería admitir que la elevación se ha originado no por dipiro, sino por intrusión provocada por presiones laterales. En general, los granitos diapíricos dentro de otros aparecen como sobresaliendo en las líneas generales del paisaje.

El mecanismo por el cual se mueven ascendentemente está regido por leyes a las que se le puede aplicar la fórmula de Stokes (24). La velocidad de ascensión sería :

$$v = \frac{2}{9} \frac{g \cdot r^2 (d' - d)}{\eta}$$

siendo g la aceleración de la gravedad, r el radio de la masa movable, d' y d las densidades de la roca encajante y del granito, respectivamente, y η la viscosidad de la primera. Suponiendo que la masa tenga un diámetro de 10 km., con densidad de 2,65 g/cc. enclavada en una formación de densidad 2,85 g/cc y viscosidad de 10^{22} poiser. resulta que V es igual a 10^{-9} cm/seg. En un millón de años se habrá movido 300 metros. Hay que tener en cuenta que la viscosidad durante los fenómenos tectónicos ha de ser menos que el valor dado. Estas ascensiones no tienen nada que ver, en cuanto a las leyes que siguen, con las intrusiones originadas por presiones laterales sobre masas fundidas o muy plásticas.

La mineralogía de las intrusiones no guarda equivalencia con la estabilidad de los campos de presiones y temperaturas del metamorfismo regional. En tal sentido las encontraremos como verdaderamente extrañas a las condiciones de las encajantes. Cabe también esperar una homogeneidad mineralógica de la mayor parte de la masa con una probable variación hacia los bordes por asimilación no bien digerida. Puede también admitirse la presencia de énclaves que deben venir desordenados respecto a las rocas encajantes, e incluso pertenecer a facies más profundas.

Como es natural, se habrán originado fenómenos de contacto (intrusivos y metamórficos o simplemente intrusivos). En facies bajas el metamorfismo de contacto será francamente discernible con potencias variables desde menos de un metro hasta varios cientos de metros, dando lugar a un zoneamiento con mayor intensidad en la parte interna. Gran

cantidad de trabajos, como los de Grout (12), Goldschmidt (10) y Tilley (31, 32), bien conocidos en la literatura del metamorfismo de contacto, describen casos en los que el factor más importante es la temperatura. Pero también nos podemos encontrar con un cierto aporte metasomático, dando lugar a dos tipos de contactos: tipo *eskarne*, con gran aporte (eminentemente sobre calizas), y tipo *cornubianítico*, mediante aumento en la temperatura (eminentemente sobre rocas arcillosas).

Su clasificación en el concepto de facies vendría dentro de las cornubianitas piroxénicas y conjuntos pertenecientes a las facies de las anfíbolitas con albita y epidota. Las facies de las sanidinitas corresponden a temperaturas más elevadas y presiones muy pequeñas, extremo al que no se llega en las formaciones batolíticas graníticas por muy superficiales que sean. En el diapirismo puro los efectos térmicos pueden no existir, pero tanto en él como en las intrusiones líquidas se pueden presentar otros fenómenos muy interesantes.

En la literatura sobre formaciones graníticas circunscritas es muy frecuente la descripción de pequeñas aureolas de migmatitas, neis de inyección, etc. (23). E incluso muchos autores suponen un origen intrusivo únicamente para la parte central o núcleo del batolito, mientras que a las zonas marginales le atribuyen un proceso granitizante o asimilativo mediante aporte o por verdadera digestión del magma sobre la encajante. Este magma o aquel aporte sería igualmente el responsable de la aureola de migmatitas. Y el razonamiento es válido tanto para estas aureolas como para las extensiones mayores de migmatitas más profundas. Es otro punto de discordia. Para los magmatistas los neis de inyección, el *lit-par-lit* y las arteritas se pueden desarrollar por verdaderas intrusiones masivas a través de las rocas encajantes abiertas previamente en forma de «hojaldre». Dejando a un lado la posibilidad de tal fenómeno tectónico en

áreas relativamente grandes y profundas, existe el problema de la viscosidad del magma granítico que le impide caminar grandes distancias por secciones pequeñas y a menor temperatura. Las lavas ácidas son precisamente poco dadas a originar largas coladas y son además las que producen mayor cantidad de vidrios volcánicos hacia sus márgenes. Fenómeno este último bien opuesto a la cristalización que presenta el metasoma de las migmatitas.

La idea de la granitización sugiere que las migmatitas de los granitos circunscritos se originan de idéntica manera a las estudiadas en las páginas anteriores: bien mediante flúidos portadores de los elementos granitizantes siguiendo planos y fisuras, o bien por fenómenos de difusión. Si verdaderamente una masa ascendente lleva gran cantidad de fase dispersa, esa explicación (similar a la de palingénesis) es factible y el resultado sería una conversión de la cobertera en granito pos-intrusivo. De forma sensacionalista podríamos decir que el granito marginal era más joven que su propia aureola de contacto. El límite de esta granitización puede ser muy neto por la formación de un frente básico (6,27), que cada vez frenaría más el avance granitizante. En un trabajo mío de hace algunos años (8) interpretaba unos datos de campo y de laboratorio como fenómenos de crecimiento de un batolito sobre su propia aureola de metamorfismo.

Resumiendo todos estos datos, los granitos intrusivos deben de presentar los siguientes caracteres:

Sintectónicos o postectónicos (dapíricos) y también pre-tectónicos (magmas).

Encajados en cualquier tipo de roca, inclusive otros granitos.

Discordantes y con muestras de la intrusión.

Aureolas de metamorfismo cuando aparecen sobre facies de bajo grado regional (intrusiones a alta T).

Cuando se encuentran encajados entre facies de las anfi-

bilitas a las granulitas pueden presentar aureolas de migmatitas (si son sincrónicas con las facies) y también un granito marginal diferente.

Si hay un granito marginal diferente, posible formación de un frente básico.

Estructura equigranular sin franco idiomorfismo y más o menos uniforme.

En formaciones de pequeño tamaño y con tendencia cupuliforme (diapíricos).

Eminentemente biotíticos o piroxénicos. Quimismo variable.

Presencia o no de pegmatitas en la zona marginal, pero probable ausencia en la parte central.

Diferenciación al estado sólido

Partiendo de los conocimientos actuales de la ciencia, aparece como un tanto oscuro el sentido de la frase «al estado sólido». En términos vulgares todos entendemos por el mismo aquel en que no hay disolución ni fusión de los elementos que intervienen en la reacción, pero en las rocas debe haber una serie de tránsitos continuos desde la inmovilidad de los iones o moléculas de una red, hasta el desmoronamiento total de la misma. Nuestro concepto de *roca real* con fase sólida y dispersa está precisamente indicado para explicar las reacciones mineralógicas, sin que en un momento dado todos los minerales hayan dejado de tener estructuras cristalinas. Las redes pueden irse sustituyendo unas por otras, pero siempre ha habido un mineral sólido en aquel punto.

Es claro que en este sentido todas las transformaciones granitizantes por palingénesis son en realidad al estado sólido. Pero en el caso que comentamos se trata de un proceso acaecido sin aporte externo, a base únicamente de los constituyentes químicos de la roca madre.

Los procesos de diferenciación al estado sólido han sido plenamente demostrados por experiencias de laboratorio y datos en cerámicas fuertemente calentadas. Igualmente se admite que tiene lugar en el metamorfismo mediante la llamada diferenciación metamórfica. A muchas masas de aplitas y pegmatitas se le atribuye el mismo origen, y los verdaderos creadores de esta hipótesis, los franceses Perrin y Roubault, han trabajado ampliamente sobre rocas filonianas (19, 21, 22). Su extrapolación a las formaciones graníticas ha sido fuertemente atacada por muchos.

El fenómeno abarcaría un aumento de la fase dispersa, originado exclusivamente a partir de la cristalina y un nuevo paso de aquella a ésta. Pero el punto principal lo encontramos en que la movilidad de todos los átomos, iones o moléculas, no siguen la misma dirección. Hay gradientes específicos y con distinta orientación para cada especie, difíciles de comprender. En el metasomatismo y en la palingénesis toda la fase dispersa camina en un cierto sentido y las transformaciones sobrevienen porque su constitución es más rica en unos componentes que en otros. En la diferenciación que comentamos sería preciso establecer diferentes fases dispersas siguiendo gradientes que incluso pueden ser completamente opuestos. Este hecho excluye la participación de un vehículo portador. Los autores citados no niegan para algunos casos su intervención, pero le atribuyen una importancia mucho menor que a la difusión, que sería bien a través de un *medio estacionario* entre los cristales o bien por el interior de las propias redes. Esta difusión puede ser de tal forma que, por ejemplo, el *Al*, *Mg* y *Fe* caminen en sentido contrario al *Si*, *Na* y *K*.

La movilidad a través de otras redes cristalinas ha sido llamada por sus autores *transformación en seco*, mientras que *transformación en estado húmedo* supondría una movilidad a través de un fluido. El agua o grupos OH^- pueden haber tenido un papel similar a la catálisis (18). Reciente-

mente Goldsmith ha establecido una cierta distinción entre *difusión seca* y *difusión al estado sólido* (11).

Las dos objeciones más importantes que se le han puesto a esta teoría son la gran cantidad de tiempo necesario para la transformación en granito de grandes masas de rocas y la dificultad de migración de los elementos de los tetraedros en los tectosilicatos. No cabe duda que las proporciones de *Al/Si* cambian en las transformaciones al estado sólido, lo que implica una destrucción y reconstrucción de los tetraedros. La energía puesta en juego tiene que ser mayor. Pero el mismo fenómeno se observa en transformaciones tales como el paso de feldespatos a cuarzo frecuentemente descrito. La migración de cationes en distintos sentidos se produciría por *motores químicos* (18), sin que de momento pueda especificarse más. El mismo autor indica otras fuentes energéticas como probables, tal es, por ejemplo, el campo gravitatorio.

La última suposición merece un párrafo aparte. En los elementos de un geosinclinal actuaría en el sentido de elevar los de mayor volumen molar y descender los que tengan este valor más bajo. Los minerales félicos aparecerían dominando en las capas más profundas. Precisamente al contrario de como los encontramos, ya que en general las micacitas (mayor proporción de félicos) aparecen sobre el granito. Cabe suponer que la verdadera diferenciación en el campo gravitatorio comienza aproximadamente a la altura de los neis glandulares y por ascensión hasta allí de iones, átomos o moléculas, y descenso a partir de esta línea de los que presenten pequeño volumen molar. Bajo los granitos se encontraría una capa félica. ¿Se trata de la basáltica, que establece un intercambio pacífico con la granítica? La idea, con falta a todas luces de datos en que apoyarse, podría solucionar algunos problemas que por el momento se presentan difíciles. Anotemos que la presencia de frentes básicos en los bordes de los fenómenos granitizantes parecen indicar

lo contrario, si bien éste es un hecho extraordinariamente local y la diferenciación en el campo gravitatorio sería planetario.

Los frentes básicos frenan la formación de granito al estado sólido, dando lugar a que los contornos sean bastante netos. En cuanto a sus características, hay gran dificultad de precisarlas partiendo de la teoría. Serían en muchos casos similares a los de palingénesis, en los cuales las artritias marginales se hubieran formado por diferenciación a partir de un paleosome homogéneo. Análisis químicos concienzudamente realizados quizás pudieran aclarar su origen. La presencia de frentes básicos y análisis a través de todo el contacto podrían igualmente proporcionar alguna conclusión.

* * *

Varias veces durante la redacción de estas notas he estado tentado de volver atrás y comenzar parodiando la salvedad que figura al principio de muchas películas intranscendentes: «Todos los granitos de este relato son imaginarios; cualquier semejanza existente con los reales es pura coincidencia.» Porque las ideas sobre las que hemos especulado son aún probablemente incompletas. Ideas y especulaciones son únicamente herramientas de trabajo, que habrá que cambiar o desecharlas. Pero de momento no tenemos otras. Hemos de contentarnos con ellas y estar agradecidos a sus creadores.

Me es grato expresar mi agradecimiento al Dr. Parga Pondal por la lectura del manuscrito, así como por las indicaciones que me ha hecho sobre la bibliografía de última hora.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- (1) BACKLUND: *The granitization problem*. «Geol. Mag.» (1946) y «Est. Geol.», núm. 10.
- (2) BARTH, T. F. W.: *Recent contributions to the granite problem*. «Jour. Geol.» (1948).
- (3) — — *The distribution of oxygen in the lithosphere. A reply*. «Jour. Geol.», v. 57 (1949).
- (4) — — *Theoretical Petrology*. «John Wiley & Sons. Inc. N. Y.» (1952).
- (5) BOWEN, N. L.: *Origen of granites*. «Geol. Soc. Am. Mem.», 28 (1948).
- (6) CHAO, E. C. T.: *Granitization and Basification by diffusion*. «Norsk. Geol. Tidssk.», 29.
- (7) ESKOLA, P.: *On the origin of granitic magmas*. «Min. u Pet. Mitt.» (1932).
- (8) GARCÍA DE FIGUEROLA, L. C.: *Contacto entre el granito y facies de esquistos verdes en Perosin (Peñaparda, Salamanca)*. «Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de Esp.», núm. 33 (1954).
- (9) — — *Sobre la pegmatización*. «Est. Geol.», núms. 27-28 (1955).
- (10) GOLDSCHMIDT, V. M.: *Die Kontakmetamorphose im Kristianagebiet*. «Krist. Vid. Skr. I Math-Nat. Kl.», 11 (1911).
- (11) GOLDSMITH, J. R.: *Diffusion in Plagioclase Feldspars*. «Jour. Geol.», v. 60 (1952).
- (12) GROUT, F. F.: *Contact metamorphism of the slates of Minnesota by granite and gabbro-magmas*. «Geol. Soc. Am. Bull.», v. 44 (1933).
- (13) HIETAMEN-MAKELA, A.: *Geochemistry of metamorphism*. «Bull. Geol. Soc. Am.», v. 64 (abstract) (1953).
- (14) KEILHAU, B. M.: *Ein vorläufiges Wort über Contactbildungen*. «Ann. Phys. Chem.», 14 (1928).
- (15) LAPORTE, J.: *Facies de métamorphisme profond et de rétro-morphose au NW. du Cap Corse*. «Bull. Soc. Geol. Fran.», t. quart, f. 46 (1955).
- (16) MISCH, P.: *Metasomatic granitization of batholithic dimensions*, part. I, II y III. «Am. Jour. Scien.», 247 (1949).
- (17) NIGGLI, P.: *Das Problem der Granitbildung*. «Schwiz. Min. u Pet. Mitt.» (1924).
- (18) PERRIN, R.: *Long range solid diffusions in geology. Answer to objections*. «Comp. Rend. Cong. Geol. Inter.», Alger (1953).
- (19) — — y ROUBAULT, M. E.: *Observations sur les filonnets du magmatic stopping de Saint-Jean-du-Doigt (Bretagne)*. «Comp. Rend. Con. Geol. Inter.», Alger (1953).
- (20) — — y ROUBAULT, M. E.: *Le granite et les réactions à l'état solide*. «Bull. Ser. Cart. Geol. Arg.» (1939).
- (21) — — y ROUBAULT, M. E.: *Applications d'études récentes sur les diffusions d'ions et la constitution des minéraux à l'interprétation des faits géologiques*. «Bull. Soc. Geol. Fran.», s. 5, t. XIX (1949).
- (22) — — y ROUBAULT, M. E.: *Aplites et pegmatites. Injection ou remplacement*. «Com. Rend. Geol. Intern.», Alger (1953).
- (23) RAGUIN, E.: *Géologie du granite*. Masson & Cie. Paris (1946).
- (24) RAMBERG, H.: *The origin of Metamorphic and Metasomatic rocks*. Univ. Chicago (1952).
- (25) RASTALL, R. H.: *The granite problem*. «Geol. Mag.», v. 82 (1945).
- (26) READ, H. H.: *Meditations on granite I y II*. «Proc. Geol. Ass.» (1943 y 1944).
- (27) REYNOLDS, D. L.: *The sequence of geochemical changes leading to granitization*. «Quart. J. Geol. Soc.», London, 102 (1946).
- (28) — — *The granite controversy*. «Geol. Mag.» (1947).
- (29) ROSENQVIST, L.: *The distribution of oxygen in the lithosphere and oxigen in rocks: a basis for petrographic calculations. A discussion*. «Jour. Geol.», v. 57 (1949).
- (30) SEDERHOLM, J. J.: *Om granit och geniss*. «Bull. Com. Geol. Finl.», núm. 23 (1907).
- (31) TILLEY, C. C.: *Contact metamorphism in the Comrie area of the Perthshire Highlands*. «Geol. Soc. Lond. Quar. Jour.» (1924).
- (32) — — *Contact-metamorphic assemblages in the system CaO—MgO—Al₂O₃—SiO₂*. «Geol. Mag.», v. 62 (1925).
- (33) TURNER, F. J. y VERHOOGEN, J.: *Igneous and Metamorphic Petrology*. «McGraw-Hill Comp.» (1951).
- (34) WEGMANN, C. E.: *Ueber einige Fragen der Tiefentektonik*. «Geol. Rundschau», XXVI, núm. 6. 1935.

*Laboratorio de Petrología de la
Universidad Central.*

Marzo de 1956.

El período sísmico de Granada
(Abril-mayo 1956)

P O R

ANTONIO DUE ROJO, S. I.

ANTONIO DUE ROJO, S. I.

EL PERIODO SISMICO DE GRANADA (Abril-mayo 1956)

Siete muertos, unos cuarenta heridos, varios centenares de casas destruidas y muchas más inhabitables por graves averías; daños materiales por valor de unos veinte millones de pesetas, según cálculos provisionales de los primeros días, y otras cuatro personas muertas de resultas de un enorme desprendimiento de tierras, efecto probable también del terremoto del 19 de abril de 1956: tal es el balance de sus consecuencias, agravadas un tanto por las numerosas réplicas, algunas bastante fuertes, que le siguieron durante varias semanas.

Datos macrosísmicos.—En los pueblos de Albolote y Atarfe, en el borde NW. de la vega de Granada, al pie de Sierra Elvira, la sacudida inicial alcanzó ciertamente el grado 8° de la escala Wood-Neumann; el foco debió de hallarse entre ambos pueblos, en la misma sierra y un poco más al N.; pero como esa región carece de poblados y cultivos hasta bastantes kilómetros sierra adentro, no ha sido posible recoger datos que lo comprueben. En un círculo de radio aproximado de 10 km. alrededor del epicentro, fué sentido como de grado 7°, incluyendo así la capital y una veintena de pueblos esparcidos principalmente por la extensa vega; pero es de notar que esta diferencia de intensidades es

muy marcada a distancia muy pequeña de los dos pueblos citados, ya que los efectos fueron incomparablemente menores a sólo dos o tres km. más lejos del foco: indicio manifiesto de la escasa profundidad hipocentral.

El pequeño macizo de Sierra Elvira, donde aflora el liásico, emite una especie de cuña de esta misma formación, que se adentra precisamente en medio de los dos pueblos destruídos; el resto de la vega está constituido por los aluviones del Genil, y en su borde oriental inmediato a la ciudad de Granada, se eleva una colina de caliza tortoniense, mioceno de facies marina, donde está edificado el Observatorio y la Facultad Teológica de la Compañía de Jesús. En el segundo piso de este colegio se hallaba el autor de esta reseña cuando ocurrió la primera sacudida: fué de unos cuatro segundos de duración, con período rápido, de pocas décimas de segundo, y de suficiente violencia para producir en algunas juntas de los muros y varios arcos de ventanas grietas y desprendimientos de yesones, a más de caídas de objetos y parar dos relojes que oscilaban en el plano N.-S. 30° al W.; igual orientación tienen los muros donde se apreciaron desperfectos; por el contrario, en Albolote sufrieron más las paredes orientadas sensiblemente en dirección E.-W., lo que indica para el rayo sísmico un origen N. o S., y excluído el segundo por haberse sentido mucho más débilmente en el pueblo de Maracena, a muy pocos kilómetros al S. de Albolote, síguese de ello que procedió del N. (para el Observatorio, del NW.). Testimonios de personas que se encontraban en el campo, confirmados por grietas observadas en sólidas columnas de la iglesia de dicho pueblo, producidas indudablemente por movimientos verticales, prueban que este sentido tuvo preferentemente la sacudida en este área. Asimismo se han comprobado desprendimientos de rocas en la vertiente meridional de Sie-

rra Elvira; el que sepultó a varias personas a dos kilómetros de la capital y siete del epicentro, pudiera haber tenido parcialmente otro origen, por tratarse de tierras sueltas en una pendiente muy pronunciada y haber llovido abundantemente en días anteriores; precisamente aquel día fué de lluvia muy copiosa, pero ésta tuvo lugar *después* del accidente y, por tanto, parece verosímil que el terremoto contribuyese a ello disgregando y facilitando el ulterior derrumbamiento. Otros efectos, tales como ruptura y caída de chimeneas, cornisas, etcétera., movimiento de árboles, ruido subterráneo general que fué notado aun en poblaciones bastante alejadas del foco, y otros semejantes, no hace sino confirmar los datos generales expuestos.

Un fenómeno extraño, que habría de ser acogido con cierta reserva, dado el estado de excitación de los ánimos y que, en efecto, se vió después que había habido exageración, fué observado desde puntos distantes de la vega en forma de violenta corriente de aire, fuego y piedras, procedente de la cañada que denominan Tajo Colorado, y que parecía salir de una cueva allí situada, la «Raja Santa». La asociación Grupo de Espeleólogos Granadinos, en nota facilitada a la prensa pocos días después, afirmó haber reconocido la caverna, a la que dos años antes habían descendido hasta 170 metros de profundidad y no haber hallado señales algunas de perturbación que se asemejase a un fenómeno eruptivo; pero subsiste el hecho, uniformemente atestiguado por personas cultas a quienes se ha interrogado, aunque haya un error de localización. Tiene además en su favor una encuesta parecida verificada por el autor de estas líneas con ocasión del terremoto de este mismo foco y con iguales caracteres, aunque de menores proporciones, ocurrido el 4 de junio de 1955 y con daños materiales en el pueblo de Atarfe; con entera indepen-

dencia unos de otros, y en circunstancias muy dispares. vieron varias personas un resplandor como de globo rojizo o amarillento (fué en las primeras horas de la mañana) a alguna altura sobre el suelo y, por tanto, visible desde distancias no pequeñas. La hipótesis propuesta para explicar un caso en todo semejante, observado en el gran terremoto centro-europeo por K. Mack, tiene aplicación plausible en las circunstancias presentes: lo atribuye a emisión de gases, hidrocarburos o hidrosulfuros, provocada por la conmoción de las rocas superficiales y la incandescencia como efecto de grandes diferencias de potencial eléctrico al experimentar tan brusco cambio de nivel en la atmósfera. En confirmación de semejante teoría, es de notar que en el sitio indicado hay una fuente de aguas termales sulfatadas, que brota a 30° C. y surte al balneario situado más hacia el O., en el pueblo que toma su nombre de Sierra Elvira; no obstante, aún no se sigue de lo dicho que el lugar del fenómeno luminoso fuese exactamente el epicentro del terremoto: como veremos después, hay razones de otro orden que tener en cuenta, por las que se excluye el caso de un foco sísmico puntual: de todos modos, los hechos citados, de cuya realidad no cabe duda, muestran haber sido ésta una de las manifestaciones superficiales de la sacudida sísmica inicial.

Para la determinación macrosísmica de los grados de intensidad, especialmente de las numerosas réplicas, se han presentado dificultades no pocas veces completamente insuperables: ya lo es, y no pequeña, la indeterminación y ambigüedad de los elementos de juicio enumerados en el texto de los grados de la escala internacional, tanto en los relativos a la sensibilidad de las personas como a los efectos en edificios; se distinguen los *bien* construídos de los *mal* construídos; se habla de casas *europeas* o vagamente de *ciertos* edifi-

cios, pero no se hace referencia al principal de los factores: la coherencia o trabazón, así de las partes entre sí (vigas, tabiques, cielos rasos...) como de los mismos materiales que las integran (homogeneidad y unión íntima de las piedras de mampostería o de los ladrillos mediante un mortero bien fraguado); casas absolutamente *europeas* o, si se quiere, modernas, pueden fácilmente sufrir más que otras aparentemente más primitivas, si difieren bajo este punto de vista fundamental, que también vale para la cohesión de distintas partes (alas, pabellones, pisos...) de un mismo edificio.

En el barrio de Cartuja, muy próximo al Observatorio, hubo daños y ruinas en mayor escala que en el resto del casco de la ciudad a que pertenece; a juzgar por ellos, e interpretando al pie de la letra los indicios enumerados en la escala de Wood-Neumann, habría que asignarles el grado 9°, poco verosímil, pues en Granada solamente fué 7° y en el Observatorio bastante menos; cierto es que para este último hay la circunstancia especial de su emplazamiento sobre caliza sólida, de suerte que ordinariamente se siente allí los terremotos un grado menos que en la ciudad, asentada sobre aluvión más movedizo.

Por la misma razón, y con mayor peso de argumentos, habría de afirmarse el grado 9° para los pueblos de Albolote y Atarfe; y, sin embargo, creemos que no fué tan intensa la sacudida como sugieren los efectos producidos, sino que existe siempre un coeficiente muy variable, según el criterio expuesto, y no fácil de interpretar. Citaremos un solo caso, de fuente autorizada: se hundieron techos recientes donde las tejas estaban asentadas sobre rasillas sólidamente instaladas, al paso que resistieron bien otros, sujetos sobre ripias de madera relativamente antiguas.

En cuanto a la norma deducida de la sensibilidad per-

sonal, ya es sabido que apenas es aplicable a las réplicas que siguen al terremoto principal: la excitación nerviosa, harto explicable, desfigura y deforma las apreciaciones; por lo demás, no sería prudente por parte de un Observatorio insistir mucho ni dar importancia a las réplicas, sobre todo si se prolongan demasiado como en el caso actual, ya que el público ve en ellas la amenaza de un futuro incierto y lleno de temores. Por esta razón, en la lista esquemática que acompaña estas líneas se consignan algunos grados según informes fidedignos, completados en lo posible con el registro sismográfico; pero sin excluir la contingencia, bastante probable, de que algunas de estas sacudidas secundarias, a las que no se señala grado superior al primero, hayan sido sentidas incluso en grado 3° ó 4°, al menos en las cercanías del foco.

Datos microsísmicos.—En un terremoto tan violento y cercano como el del 19 de abril, cuyo registro comenzó a las 19^h 38^m 54^s (TMG), no se había de esperar sino la fase primera Pg, tras de la cual las enormes ondas transversales lanzarían fuera de los cilindros las agujas inscriptoras y desviarían violentamente el rayo de luz del registro magneto-fotográfico; pero esta vez una circunstancia adversa impidió aún la obtención de ese pequeño dato inicial. Coincidió esa primera onda con la marca del minuto y no fué posible distinguir su duración; asimismo, en el mismo instante en que el reloj eléctrico Leroy producía el eclipse de un segundo de duración, correspondiente en los péndulos fotográficos a dicha marca, tuvo lugar la parada de la péndola, cuyo movimiento sólo pudo reanudarse varios minutos más tarde; si se hubiera parado sólo un segundo más tarde, se hubieran interrumpido las señales horarias, pero habría habido registro, como se comprobó después, al examinar su estado de funcionamiento y ver

que había vuelto el rayo de luz a su sitio respecto del cilindro cubierto de papel fotográfico.

Todos los datos instrumentales se limitan, por tanto, a los sismogramas de réplicas, en cuya reseña subrayamos el hecho de ser la de las 20^h 0^m 28^s la primera registrada después de restablecida la normalidad en los sismógrafos; pudo haber alguna anterior, que no se pudo registrar por la razón indicada. Muy poco es lo que se deduce de tales gráficas, ya que por razones de índole material y económica, la velocidad de rotación de los cilindros es de un centímetro por minuto, suficiente y hasta oportuna para terremotos lejanos, pero insuficiente para los próximos de período rapidísimo; el único dato interesante es el de la distancia epicentral, para la cual, en casos semejantes a éste, nos consta ser válida la fórmula elemental: $D = 8(Sg - Pg)$, en la que D se expresa en kilómetros y la diferencia Sg — Pg en segundos. La mayoría de las réplicas miden en esta fase la longitud correspondiente a un segundo y, por tanto, dan 8 km. de distancia, la que hay aproximadamente entre el Observatorio y el pie de Sierra Elvira, entre Albolote y Atarfe; conocido el azimut por los datos macrosísmicos, las coordenadas geográficas del epicentro son, pues, 37° 15' N.-3° 39' W. Gr.

Si todas las réplicas coincidieran en estas características, bastaría lo dicho para establecer la situación del foco; pero no es así: sin orden ninguno sistemático se suceden unas a otras con diferencias de Sg — Pg de uno, de dos y de tres segundos, lo que da, respectivamente, 8, 16 y 24 km. de distancia epicentral; más aún, no faltan casos bastante claros de valores intermedios (en cuanto permite su medida en décimas de milímetro), de suerte que en esas réplicas la diferencia citada es de 1,5 ó 2,5. Nos encontramos, pues, con una auténtica emigración del foco sísmico, observada ya en otras es-

taciones sismológicas y correspondiente a sacudidas procedentes de diferentes porciones de un mismo accidente tectónico de alguna extensión. Hemos subrayado la *claridad* con que aparecen estas diferencias porque la experiencia enseña que, tratándose de réplicas de muy pequeña amplitud, el acortamiento de la fase inicial puede ser debida sencillamente a que por debajo de cierto valor de la amplitud, el inevitable rozamiento de los sismógrafos de registro mecánico (únicos en que pueden registrarse períodos tan rápidos) impone a ambos lados de la línea inscrita por la aguja una *zona de silencio* o faja de registro nulo, que a veces supera el terremoto un poco después de su comienzo teórico; en nuestro caso, esa zona es sumamente estrecha, pero también son mínimas las amplitudes que tendrían que registrarse.

La verdadera solución de este problema, término medio entre el estudio macrosísmico con sus inconvenientes conocidos y el microsísmico con sus obstáculos insuperables mencionados, es el que propusieron en el último Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias los ingenieros geógrafos Rey Pastor y Bonelli, al presentar un modelo sencillo y práctico de sismocopio, que debidamente vulgarizado e instalado permanentemente en regiones de alta sismicidad, permitiría no sólo un más exacto conocimiento de los accidentes tectónicos del subsuelo, sino además, en el orden práctico, la determinación automática y objetiva de los grados de intensidad Wood-Neumann en cada localidad, además de fiar ingeniosamente la dirección del rayo sísmico («Las Ciencias», XXI, 1, págs. 28-33).

En la lista siguiente damos tan sólo una idea de la distribución cronológica de las sacudidas sísmicas del período, que comienza con el terremoto máximo entre todos los que le siguieron y al que no precedió prelimi-

nar alguno, como alguna vez ha sucedido en esta región de Andalucía. Los grados se refieren a la región epicentral.

Fecha	Núm.	OBSERVACIONES	
Abril 19	4	1. ^a Sacudida inicial, a la que se refieren los datos macrosísmicos de esta reseña. 2. ^a Primera réplica <i>registrada</i> a las 20-00-28. (Pudo haber alguna antes). 3. ^a Segunda, asimismo sólo registrada. 4. ^a Tercera, de grado 6°.	
	20	15	Uniformemente repartidas por todo el día; la primera de grado 2° y la penúltima de 3°.
	21	7	Todas posteriores al mediodía.
	22	25	Fué la jornada de máxima frecuencia, y en cierto modo, también de intensidad; aunque el grado más fuerte fué 7°, hubo un 6°, dos de 5° y tres de 4°, en su mayor parte concentrados entre las 4 y las 8 de la mañana, pero el de gr. 7° fué a las 4 de la tarde.
23	8	Se sintió una de gr. IV poco después de las 13 ^h .	
24	9	Dos de ellas, de gr. IV, hacia las 5 y las 16 ^h , respectivamente.	
25	3	La última, cerca de la media noche, sentida gr. 3°.	
26	3	Débiles.	
27	0		
28	2	Casi seguidas hacia las 20 ^h ; la segunda, de gr. 4°.	
29	14	De ellas, dos casi inmediatas, poco antes de las 15 ^h , de gr. 3°; otra, diez minutos más tarde, de 4°; la mayoría de las restantes, muy poco después.	
30	3	Dos pequeñas de madrugada y otra de gr. 8° hacia las 14 ^h .	
Mayo 1	7	Espaciadas durante el día; la primera, de gr. 3° cerca de las 4 ^h .	
	2	2	Pequeñas, anteriores a la media noche.
	3	3	La primera, a la una de la madrugada; media hora más tarde, otra de gr. 5°, y la última, hacia las 22 ^h .
	4	0	
	5	7	Muy repartidas en diversas horas; cerca de las 23 ^h , un grado 5° y otro 3°.

Fecha	Núm.	OBSERVACIONES
6	3	De madrugada; una de grado 2°.
7	1	Débil.
8	1	Débil. Hasta el momento de terminar de escribir esta reseña, 116 réplicas.

A juzgar por lo expuesto, la falla o ruptura donde se alinean todas estas sacudidas se extiende verosíblemente de N. a S. a partir del límite meridional del líasico, siguiendo el cauce del río Colomera; otra orientación no explicaría satisfactoriamente las distancias epicentrales variables entre los 8 y los 24 kilómetros del Observatorio, pues en ese caso se hubieran sentido más intensamente los movimientos del suelo en poblados relativamente abundantes al E. y O. del foco inicial; y consta que no ha sucedido así. El número crecido de réplicas está en armonía con la intensidad, no sólo del primero, sino también de varios de los terremotos siguientes, como se puede apreciar en la lista que precede. Durante el período de Santafé de 1918, de foco muy cercano al actual, se registraron 194.

Nota acerca de los terremotos granadinos del 19 de abril de 1956

P O R

MANUEL PASTOR

MANUEL PASTOR

NOTA ACERCA DE LOS TERREMOTOS GRANADINOS DEL 19 DE ABRIL DE 1956

En toda la parte puramente sismológica en relación con nuestro cometido nos remitimos a lo que informa el P. Due, y que a cuantos tengan la paciencia de leer las cuatro generalidades que por cuenta propia recogemos en esta nota, les recomendamos la lectura previa del estudio que habrá de hacer el citado sismólogo, y que al mismo tiempo que este nuestro se publica en NOTAS Y COMUNICACIONES.

De todas formas, como resultaría extraño e incompleto que en la siguiente redacción no figurase ningún dato sobre la cronología y el número de los temblores de tierra registrados a partir del pasado día 19 de abril, la completaremos con la inclusión de una referencia de los mismos, pero ello no sin hacer constar que para mayor exactitud será necesario cotejar y amoldar nuestras cifras a las mucho más seguras que figurarán en la publicación del P. Due.

EL MACROSISMO DEL 19 DE ABRIL Y SUS «RÉPLICAS»
MICROSÍSMICAS

Aparte de que, con anterioridad al día 19 de abril, se habían registrado por los sismógrafos del Observatorio

de Cartuja (Granada) varios y repetidos microsismos, de los que tan sólo unos pocos, y en diferentes épocas, resultaron sensibles a los habitantes de la capital, el hecho concreto es que, en la fecha señalada, sobrevino uno instantáneo y de importancia claramente «macrosísmica», sobre el que el nombrado Observatorio dió el siguiente parte: «El terremoto registrado en la tarde del jueves, día 19, a las 19 horas, 39 minutos, ha sido del grado 6º, y la sacudida, en dirección Norte-Sur, con foco muy superficial, distante de Granada unos 5 ó 10 km. A consecuencia de la violenta sacudida se averiaron los cuatro sismógrafos del Observatorio.»

El mismo día, a las diez, doce y media, una y media y tres y media de la noche, volvió a manifestarse el fenómeno, aunque ya con mucha menor intensidad, pero no hasta el punto de pasar desapercibido a los vecinos de Atarfe y Albolote, quienes, por haber sido los más directamente afectados por la vibración de las 19^h 39^m, estaban pasando la noche en vela y con el natural temor a que pudiera repetirse.

Vuelve a temblar el suelo en los días siguientes, como réplicas notablemente abundantes del primer y más intenso seísmo del 19, llegando a ser registrados, entre dicho día y el 26, 67 movimientos, de los que dos de ellos fueron calificados como de 3^{er} grado, para entrar posteriormente en tiempo de mayor tranquilidad o estabilidad cortical, pues desde ese día hasta el 1 de mayo, último de que poseemos datos, no volvió a registrarse ninguna nueva sacudida fuerte o débil.

Comprobados y valorados, al día siguiente de ocurrir el auténtico siniestro del 19, los daños y las víctimas que entre Atarfe, Albolote, Granada y algún otro pueblo próximo se habían ocasionado, la citada calificación de la intensidad del seísmo fué elevada al grado 7º para la capital y al 8º para la zona realmente más afectada de Al-

bolote y Atarfe. Ello posiblemente, como hemos de explicar más adelante, como consecuencia de que en el ánimo de los calificadores influyó excesivamente el número de muertos y heridos (13 y 74, respectivamente) y poco o nada la mala construcción de los edificios que en su hundimiento los causaron.

ZONAS QUE RESULTARON AFECTADAS EN MAYOR O MENOR GRADO

Aquella en que, exagerada o no en su calificación, resultó máxima la intensidad del terremoto de la tarde del 19 (único al que nos referiremos desde ahora), fué la que, con forma elíptica y ejes de unos 7 y 3 km., se extiende paralelamente al asomo jurásico de Sierra Elvira y comprende en su centro los pueblos de Atarfe y Albolote, los que, al igual de la mayor parte de lo que de la vega granadina ocupan sus términos municipales, se asientan sobre formaciones aluvionares y terrosas, muy poco cimentadas generalmente, de época Diluvial.

Fué allí donde el movimiento se caracterizó perfectamente de «instantáneo, vibratorio y violento»; donde quedaron localizados el epicentro y el hipocentro del mismo, y donde en vidas y destrucciones materiales quedaron más muestras del desastre, en el que, aparte su innegable fuerza provocadora, debió participar el hecho de que su suelo, de rellenos con poca coherencia, resultó un buen propagador de las ondas sísmicas y un mal defensor de los excesivamente superficiales cimientos abiertos en él.

Por su parte, los límites de la segunda zona, en que la intensidad bajó al 7º, están realmente poco determinados, pues como en ella se incluyó a Granada, Santa Fe, Maracena, Pulianas y Peligros, y no, en cambio, a otros pueblos próximos del oeste de la zona focal, ello

parece traducirse en que su área, en lugar de rodear concéntricamente a la localizada como de grado máximo (que sería lo más lógico, dentro de una formación homogénea), se desplazó claramente hacia el Este. Personalmente no admitimos semejante desplazamiento, y atribuimos el distinto efecto del terremoto sobre pueblos próximos, y hasta de colocación simétrica con relación al eje largo del mismo, a que mientras unos se asientan sobre terrenos del Diluvial, los otros lo hacen sobre formaciones antiguas del Terciario y hasta del Triás. De ello el que sísmicamente atribuyamos a esta segunda zona el perímetro ideal de otra elipse concéntrica a la primera, y bastante más extensa que ella, y el que, dentro de esta hipótesis, nos expliquemos las diferencias con que fueron afectados pueblos que geoméricamente debían haberlo sido en igual grado, en la distinta naturaleza geológica de sus suelos.

En favor de la anterior teoría puede citarse el hecho de que las poblaciones que más sufrieron están todas en el Diluvial; que lo hicieron menos las asentadas en terrenos terciarios (Mioceno y Plioceno) o secundarios (Triásico), y que casi no sintieron el seísmo las enclavadas en Estrato-Cristalino de Sierra Nevada, la que indudablemente se comportó como un macizo incommovible o estable.

CARACTERÍSTICAS DE LA VIBRACIÓN

Sin duda alguna, el terremoto de la tarde del 19 de abril fué instantáneo, vibratorio y violento, y su onda longitudinal y más intensa fué la del sentido N.-S., originada, como las otras componentes, en un foco o hipocentro muy superficial.

La instantaneidad, además de ser asegurada por cuantos en Granada o en los pueblos aún más afectados

fueron testigos del seísmo, la comprobamos fácilmente en el Observatorio de Cartuja al examinar los tres sismogramas del día del hecho. Tanto los correspondientes a las componentes longitudinal (N.-S.) y transversal (E.-O.) como el indicador del movimiento vertical, muestran claramente que la conmoción no fué precedida de ningún microsismo preliminar, y que las agujas saltaron instantáneamente fuera del campo, partiendo de un reposo anterior absoluto.

De su sentido vibratorio, también reconocido por miles de personas y registrado por los tres sismógrafos, estamos plenamente de acuerdo en que se manifestó según los tres sentidos clásicos, y en que, de los tres, el más patente y principal fué el longitudinal de orientación N.-S., pero no asimismo en que también fué muy grande el desplazamiento vertical. La diferencia de intensidad entre las ondas longitudinales y transversales la vemos en los efectos catastróficos de que trataremos más adelante, y en el significativo hecho de que en Cartuja se paró el reloj, cuyo péndulo oscilaba de N. a S., y no, en cambio, los restantes, de oscilaciones transversales. Por su parte, la menor participación en el desastre de la componente vertical del movimiento lo dedujimos de la observación de las casas hundidas en Atarfe y en Albolote, en las que, en ningún caso, comprobamos la rotura o sólo el agrietamiento de un piso o una solearía. Siendo éstos, como lo son, de cemento o baldosín, ello lo consideramos sólo posible habiendo sido nula o muy pequeña la componente vertical del seísmo.

Sobre su condición de «violento» no es necesario alegar más hechos demostrativos que los muy sensibles de que en él perdieron la vida 13 personas, resultaron heridas otras 74 y que, en total, y aunque seguramente con cierta exageración explicable, se estiman en unos 3.000

los edificios que sufrieron daños más o menos importantes.

En cuanto a la ya indicada superficialidad del foco o hipocentro del terremoto, pueden citarse dos hechos que lo acreditan por muy distintos conductos. Uno es la pequeña extensión de la zona en que real y materialmente se hizo catastrófico, y el otro, que el ruido subterráneo (parecido al trueno o al rodar de muchos arzones de artillería) que acompañó a la vibración, se percibió con el oído en el mismo instante en que la vista y hasta el tacto se daban cuenta de la sacudida, coincidencia en que están de completo acuerdo cuantos testigos presenciales del hecho fueron interrogados por nosotros. Indudablemente ello no habría podido cumplirse en el caso de que el hipocentro del seísmo, o sea su verdadero foco u origen, estuviese a gran distancia de su proyección radial sobre la superficie del terreno (epicentro).

Sobre la situación más probable de este último punto, ya dijimos que los especialistas en sismología la fijaron entre 5 y 10 km. del Observatorio de Cartuja, y que la masa general la localizaron al mismo pie de Sierra Elvira y coincidiendo con la llamada «Raja Santa» de la misma, a la que, ello con completo error, concedieron el carácter volcánico.

Como de todo ello trataremos en nuestra posterior interpretación geológica del fenómeno, damos por terminado este capítulo para tratar en el siguiente, que ha de versar de su

VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN

Sobre este punto, el único dato seguro es el referente a que el Observatorio de Toledo recibió la onda sísmica nacida en Granada 44 segundos después de su iniciación y registro en el de Cartuja, lo que, poco más o menos,

representa una velocidad de propagación de unos 6,6 km. por segundo. Ello, naturalmente, en el supuesto, seguramente no ocurrido, de que la primera onda que llegó a Toledo caminase por la inmediata proximidad de la superficie del suelo y no, por una serie de refracciones y hasta reflexiones complicadas, siguiendo trayectos mucho más profundos, que representarían una velocidad real mucho más elevada que la sólo aparente ya citada.

Las observaciones locales, dentro aún de toda la provincia de Granada y sin más observador seguro que Cartuja, resultarían totalmente inadecuadas para hacer o comprobar cálculos de ninguna especie, los que, dentro de un área relativamente pequeña, no darían más velocidad que la superficial, y ello con mucho error.

SUS EFECTOS EN LA ZONA AFECTADA

Como es natural, fueron de diferente importancia y más o menos reconocibles a medida que el movimiento vibratorio del seísmo fué afectado, en sus desarrollos de sentidos longitudinal (N.-S.), transversal (E.-O.) y aún vertical, zonas o pueblos situados a diferentes distancias del epicentro, que fué localizado, como es sabido, sobre la línea que viene a marcar el plano sur de Sierra Elvira y entre los pueblos de Atarfe y Albolote.

Fueron, pues, estos dos núcleos de población enclavados en las inmediaciones de Granada, y en su vega, los más directa y claramente perjudicados por la acción del fenómeno, que en ellos fué calificado como de 8.º grado de intensidad (con 13 muertos y 74 heridos), mientras que sólo llegó al 6.º ó 7.º en toda la zona próxima e indudablemente afectada de Maracena, Santa Fé, Peligros, Pulianas, Calicasas, Cuevajar, Pinos Puente y Granada capital. En esta última, y aunque sólo fué en algunos de

sus barrios populares y de vieja o mala construcción, es innegable que los terremotos del 19 del pasado abril dejaron patentes señales de sus efectos destructores o sólo perjudiciales, según los casos, distingo este último que hacemos a propio intento por cuanto, como hemos de explicar a continuación, no damos carácter de catastróficos (y ello con un alcance relativo) más que a los daños, con víctimas, ocurridos en Albolote y Atarfe y porque en el mismo sentido, juzgamos que se exageró bastante en el juicio sobre la extensión e importancia de los perjuicios materiales que ocasionaron, e igualmente en la calificación de su intensidad. Para creerlo así, vemos las siguientes razones:

Las escalas que para fijar dicha calificación se utilizan en cualquier caso, y bien sean la de Rossi, la de Mercalli u otro análoga, determinan y separan los distintos y progresivos grados de intensidad, basándose, sobre todo para las calificaciones altas, en efectos tan relativos y tan poco definidos como son la «parada de relojes», el «toque de campanas o campanillas» y el daño o «destrucción de edificios». El que así sea, además de habilidoso y explicable a falta de medidas más seguras y exactas (pues ya se sabe que los sismógrafos sólo las dan para los microsismos y que se invalidan durante los macrosismos), nos parecería perfecto si, dentro de unos terrenos de parecidas condiciones geológicas, los relojes fueran iguales o equivalentes en sus péndulos, estuviesen a igual altura las campanillas, y fuesen de la misma o aproximada calidad y volumen la construcción material de los edificios, en cuyos daños, o destrucción parcial o total, están fundamentadas las antiguas escalas a que hicimos referencia.

Si en su zona epicentral de unos 12 ó 15 km.², el sismo de Albolote y Atarfe fué calificado de grado 8.º, ello se debe a que, sin más consideraciones, se tuvo en cuenta

que en estos pueblos, a más de un cierto y variable daño en el 80 por 100 de sus edificaciones, se derrumbaron totalmente las restantes. No se tuvo presente en cambio, que todas las casas arruinadas por completo eran de una construcción de ínfima calidad (esquinas de piedra ligada con barro, muros de barro prensado formando paños largos y mal unidos, y techos y tejados proporcionalmente tan endebles como los muros de su apoyo) y que, por el contrario, todos aquellos que, aun siendo de más plantas que las hundidas, estaban decentemente construídas, sólo sufrieron daños mayores o menores (muchos de ellos casi insignificantes), pero sin llegar nunca a hundirse ni aun parcialmente.

Atribuimos, pues, el exagerado grado 8.º concedido en Atarfe y Albolote, el terremoto del 19 de abril, a la deficientísima calidad de sus construcciones destruídas, atreviéndonos a asegurar que dicho grado se habría rebajado en dos unidades si todos sus edificios hubiesen sido como aquellos que resistieron los embates del movimiento del suelo, y más aún, si en vez de los pueblos afectados hubieran existido dos ciudades modernas con construcciones de estructura metálica o de hormigón armado. En confirmación de esta impresión, no estará de más añadir el siguiente detalle: El día antes de nuestra primera visita a la zona siniestrada, y ello por persona con preparación y conocimientos más que suficientes para hacerlo, fuimos advertidos de que las destrucciones de Atarfe parecían indicar la existencia de dos fallas longitudinales (tapadas naturalmente por los acarrees Diluviales de toda la superficie de la zona) que dividían el terreno en una banda central relativamente segura y consistente, y en otras dos laterales totalmente inestables y propicias a conmoverse al menor impulso. Según nuestro informador, la zona o banda del centro se debió comportar durante el sismo mucho mejor que las laterales,

en las que, por ello, quedó concentrada la totalidad de las destrucciones y hundimientos de auténtica importancia.

Fuimos, pues, al terreno con el prejuicio de ver el paso, aunque fuese oculto, de las dos fallas anunciadas, pero, a medida que localizamos los barrios más dañados y marcamos sus límites, llegamos al convencimiento pleno de que no hay razón alguna para pronosticar la existencia (siempre posible de todos modos) de las dos fracturas supuestas, y que si en cambio las hay para asegurar que las hipotéticas fallas tectónicas lo son llana y simplemente de índole «económica», como lo indica el hecho de que los barrios pobres y siniestrados de Atarfe se extienden a ambos lados de su alargada y semirrica zona central, que fué a la que se había empezado a considerar como menos conmovible que las laterales o periféricas.

Para nosotros, el mejor o peor comportamiento de las citadas bandas longitudinales durante la conmoción sísmica, o dicho con mayor propiedad, sus mayores o menores daños, no fueron consecuencia de ninguna variación local de las condiciones geológicas o estratigráficas de unas y otras, sino simplemente derivados de la diferente calidad de construcción de sus respectivos edificios o, lo que es lo mismo, de la distinta y distante posición económica de los vecinos de uno u otro sector.

Por otra parte, las fallas sobre cuya inexistencia acabamos de pronunciarnos y que, además, resultan invisibles dentro del horizonte Diluvial que ocupa la gran mayoría del área claramente afectada por el terremoto, en caso de existir, habríamos traducido obligadamente en ciertos cambios de la naturaleza del entresuelo en que están abiertas las fundaciones de los edificios de Albolote y Atarfe, en los que, por el contrario, reconocimos una gran regularidad en la naturaleza terrosa, suelta y algo arcillosa, de la capa aluvionar que, en ambos casos,

sirve de asiento para sus edificios. A lo sumo, de ella puede decirse que, dentro de la regularidad de conjunto ya citada, se distinguen isleos en los que resulta variable el grado de cementación de sus elementos térreos, y que, aun en los menos disgregados de estos últimos, las condiciones de resistencia ante el efecto mecánico de cualquier seísmo son francamente detestables.

Una vez que hicimos constar que en los daños sufridos en Atarfe y Albolote (e igual y aunque aminorados en el resto de la zona perjudicada), con motivo del terremoto del pasado abril, tomando parte además, naturalmente, de la intensidad real del fenómeno, la naturaleza disgregante de sus suelos y la mala calidad de la construcción de buena parte de sus edificios, pasamos a dar una ligera reseña de los mismos, orientándola, no en el sentido de juzgar su importancia material siempre sensible y que no es de nuestra incumbencia, sino en el de procurar deducir el por qué y la forma en que se produjeron.

Señalaremos en primer lugar, que de las tres componentes (longitudinal, transversal y vertical), en que siempre puede descomponerse el movimiento vibratorio de cualquier terremoto, en éste de que venimos tratando se destacó claramente por su fuerte intensidad la longitudinal de sentido N.-S., y que, aun a pesar de que las personas que aguantaron el movimiento aseguran que el terremoto saltó materialmente, la componente vertical debió ser muy pequeña. Nos fundamos para hacerlo así en las siguientes observaciones:

1.^a Todos los edificios afectados total o parcialmente por el seísmo ponen en evidencia que sus muros y tabiques más dañados (que no es lo mismo que volcados), fueron los enfrentados al N. o el S. (traza E.-O.).

2.^a En la serrería de piedra que existe en Atarfe ocurrió que, de los montones o paquetes de losas ya cortadas

y en apoyo directo de una en otra y próximo a la vertical, se volcaron y rompieron, en parte, todos aquellos que daban frente al Norte o al Sur, mientras que no experimentaron el menor desplazamiento ni deterioro los que, por casualidad, habíanse depositado con orientación contraria, o sea presentando sus cantos al N.-S. y sus frentes al E.-O.

3.ª En ningún caso, ni aun en aquellos en que las casas se hundieron en la totalidad de sus plantas, nos fué posible reconocer la existencia de la menor grieta, despegue o deterioro en sus pisos de baldosín o de cemento.

El hecho de que tanto en Atarfe como en Albolote, haya edificios parcialmente derruídos en que quedaron en pie sus frentes al N.-S. y volcados los contrarios, no la estimamos ni con mucho como en contrario de que el impulso más fuerte del terremoto fué el longitudinal de N. a S. Ello nos lo explicamos al considerar que, en estos casos, las paredes que, aunque muy dañadas y rajadas paralelamente al suelo, quedaron en pie, lo hicieron por el hecho de que las sostuvo, haciéndolas solidarias en una misma cruzía, la carpintería de las armaduras de sus tejados. En cambio, los muros laterales, más altos que largos en dichos casos, al quedar desunidos de los de carga de sus dos esquinas, debieron desplazarse hasta terminar por volcar en toda o parte de su altura, pero ello sin que en su obra sufrieran tanto como los N.-S., que aún se mantienen a pesar de haberse partido materialmente.

Como simple noticia estadística que, aunque posiblemente exagerada y difícil de ser comprobada por quienes como nosotros no tenían la obligación o el deseo de valorar la cuantía material del siniestro, es la que ha tomado estado oficial, añadiremos que de las 1.000 viviendas de Albolote, un 30 por 100 quedaron hundidas o al menos inhabitables; un 60 con daños de consideración, naturalmente variable, y sólo un 10 por 100 con pequeñas

averías; y que los 1.250 edificios de Atarfe, más de 500 sufrieron daños de consideración y aunque el número de las hundidas o que resultaron claramente inservibles, no excede de 20 ó 30.

Fué, pues, mayor el efecto dañino del seísmo en Albolote que en Atarfe (tanto en víctimas humanas como en daños materiales), lo que, aparte de la peor construcción del primero de estos pueblos, parece provenir de que el epicentro del fenómeno quedó algo más alejado del segundo de los mismos. Sobre lo que no deja lugar a dudas de ningún género la observación de los daños causados en la zona epicentral del terremoto (e igualmente en las próximas y menos afectadas de Maracena, Pulianas, Santa Fé, Calicasas y Granada), es en lo que ya dictaminó el Observatorio de Cartuja sobre la marcada superficialidad de su foco hipocentral y sobre su afortunadamente reducido campo de manifestación de grado alto. Ello se confirma plenamente y sin esfuerzo al comprobar que la gran mayoría de los cortijos y secaderos de tabaco (naves de construcción muy ligera, bien o mal hechos según los casos), situados en las cercanías de la zona realmente siniestrada, no presentan generalmente más que daños de poca importancia, los que igualmente se repiten, aunque en menor escala aún, en las tres o cuatro fábricas de azúcar, cemento y abonos químicos que por allí existen igualmente, y en las que, como señal evidente de que no fueron sacudidas con excesiva fuerza, no quedaron destruídas ninguna de sus tres chimeneas de buena altura.

En cuanto a las posibles muestras que cualquier seísmo puede dejar impresa en la superficie del suelo de la zona, por donde se propagó con mayor intensidad, el del 19 de abril no dejó ni en Atarfe ni en Albolote, el más pequeño recuerdo, pues, aparte de alguno sin importancia al que hemos de referirnos, y de otros que «dicen»

ocurrieron y que tomamos como fruto de imaginaciones alteradas por el susto que indudablemente sufrieron los «dicentes» la noche de la vibración, no vimos por ningún lado la más pequeña grieta, ni ninguna variación en la ubicación, altura o régimen de los manantiales o pozos de la región conmovida.

El hecho alegado por varios vecinos sobre que el agua de los pozos de sus casas había subido de nivel más de un metro a raíz del terremoto, cayó fácilmente de su base cuando otros más numerosos nos aseguraron que ello se había notado con anterioridad al seísmo y que era una simple consecuencia del exagerado régimen de lluvias que vinieron cayendo en la comarca antes y después del mismo.

Asimismo, consideramos como un hecho nada extraordinario, aunque indudablemente debido a efectos del terremoto, en que en el llamado «Tajo Colorado» de las canteras de piedra caliza situadas en Sierra Elvira y como a 2 km. de Atarfe, se desprendiesen unas 300 Tm. de este elemento de construcción. Ello, además de no ser nada extraño, dado el que el frente del tajo podía estar mal saneado y resultar fácilmente conmovible por la sacudida sísmica, cuyo epicentro debió estar en sus inmediaciones, no ocurrió, como dejó volar la fantasía de los primeros días, con proyección de los bloques hasta distancias regulares, sino más sencillamente con desgajes y caídas de los bloques debilitados y desprendidos por las ondas del terremoto.

Mayor fantasía aún hay que atribuir a que, por bastantes vecinos de los pueblos afectados por la sacudida, se haya dado por cierto el que de la llamada «Raja Santa», también de Sierra Elvira, y a las cuatro de la madrugada del día del siniestro, surgiese una columna de fuego que fué elevándose hasta convertirse en un cuerpo luminoso de unos 3 m. de ancho en su parte alta, y que

con forma de árbol u hongo se elevaba lentamente, sin llegar a despegar su base del terreno, desprendiendo, de su cuerpo vivamente encarnado, como bolas de fuego. Ello durante unos cinco o más minutos. Ni que decir tiene que de semejante película, recogida por la Prensa, nadie medianamente serio nos dió, ni en Albolote ni en Atarfe, la más pequeña confirmación, lo que, aun cuando así lo esperábamos con seguridad casi absoluta, no dejó por ello de llenarnos de tranquilidad, pues de otro modo, éste nuestro sencillo informe sobre unos hechos normales, aunque también sensibles, se habría complicado hasta el extremo de tener que tratar en él de un fenómeno que, dada la ausencia de todo terreno volcánico en la región granadina a que el seísmo afectó, nos resultaría muy difícil de explicar.

Terminaremos este capítulo sobre los efectos sensibles del terremoto del 19 de abril, añadiendo que los que en menor grado (y sea éste el 6.º, el 5.º u otro menor) experimentaron la capital de la provincia y los pueblos de su vega más próximos a la elipse que idealmente forman Albolote y Atarfe, fueron, además de mucho menos dañinos en vidas y haciendas, tan desperdigados y tan localizados, que de ellos es inútil pretender sacar ninguna consecuencia práctica, ni menos aún cómo fué el desarrollo de las vibraciones. A lo sumo, podría llegarse a la conclusión de que un edificio viejo y mal construido no precisa ningún terremoto de grado 6.º u 8.º para arruinarse definitivamente, y, también, que en casos como el ocurrido resulta fácil el cargar a cuenta del terremoto daños o deterioros con bastantes años de existencia.

EXPLICACIÓN GEOLÓGICA DE SU PROBABLE ORIGEN

Las teorías modernas sustentadas por los especialistas en sismología, están todas de acuerdo en que un te-

terremoto puede tener origen en diferentes causas telúricas, y que es erróneo tratar de generalizar, atribuyendo a todos una causa única, sólo porque el efecto resultante sea el mismo. En consecuencia, dividen los terremotos en tectónicos, volcánicos y criptogénicos, según sean atribuidos a movimientos orogénicos no terminados aún en nuestra época, a la acción de los volcanes, o a causas no bien determinadas, aunque, posiblemente, en relación con el volcanismo.

Según ello, en los terremotos tectónicos no deberán influir, como alguien pretendió hacer en éste de Granada, las aguas meteóricas; podrán éstas, en casos, actuar en los volcánicos, y es más que probable que lo hagan en los criptogénicos, de los que, posiblemente, podrán constituir su causa primordial, sobre todo en aquéllos cuyos hipocentros se encuentren a pequeña profundidad.

A pesar de que en el seísmo de que venimos tratando se cumplieron las condiciones de ser muy superficial su foco u origen y la de que, con anterioridad a él, se había medido en la región, y en el plazo de un mes, una precipitación lluviosa extraordinaria (por lo que no es extraño que haya quienes se inclinaron a clasificarlo como criptogénico), nosotros diferimos de semejante tendencia pronunciándonos en favor de su inclusión dentro de los tectónicos. Ello, sin siquiera tomar en consideración a los mantenedores de un origen volcánico, los que, entre otros absurdos, conceden carácter de ígneas (o volcánicas) a las calizas secundarias de Sierra Elvira. Nos fundamos para ello en lo siguiente:

1.º Que Granada y una buena parte de su provincia fué siempre zona muy afectada por los terremotos, tanto en épocas de lluvia como durante estiajes extremados. Según datos del Observatorio de Cartuja, durante los últimos cuarenta años en él fueron registrados 479 macro o microsismos, de los que 403 no fueron perci-

bidos más que por los sismógrafos. De los 76 sentidos por las poblaciones, sólo uno fué de grado 7.º y dos de 8, el que ocurrió en 1911 y afectó, sobre todo, a una parte de Murcia, y el actual que venimos considerando. Los restantes fueron de menor intensidad y no causaron daños de consideración. Por otra parte, otro tanto debía suceder aún hace más años en cuanto al número de los temblores de tierra y de los que resultaron verdaderamente catastróficos: los de 1884 y 1887, que causaron cientos de muertos y la destrucción completa de varios pueblos de Granada y Málaga. Todo ello denota con suficiente claridad que la región granadina y sus prolongaciones colindantes, aparte de poder o no perder su equilibrio a causa de almacenar momentáneamente más o menos cantidad de aguas meteóricas, están asentadas, dentro de la corteza terrestre, sobre dovelas desequilibradas que todavía no encontraron su posición definitiva de reposo.

2.º Comparativamente son mucho más frecuentes y violentos los terremotos en aquellas regiones de la tierra que, como las de la zona costera del Pacífico y aquella de la región bética que queda al Sur de la línea Huelva-Alicante, fueron especialmente afectados por los plegamientos y fallas causadas durante los diferentes períodos geológicos, por las grandes conmociones tectónicas que hasta el día han venido modificando la faz externa del globo.

Aplicado lo cual, y estando Granada y su provincia dentro de la zona bética a que acabamos de calificar como de poca estabilidad cortical (por formar parte de la banda o círculo máximo debilitado Alpino-Caucásico-Himalayo), no vemos necesidad de recurrir a más teoría que a la «tectónica» para explicarse el por qué, en ella, son frecuentes los microsismos y el que, por fortuna, raras veces resulte castigada por terremotos autén-

ticos como los de 1884 y 1887 o el ocurrido en abril último.

Por su parte, a la geología local de la región últimamente conmovida, aunque demasiado limitada para demostrar por sí sola el origen tectónico del seísmo, la juzgamos lo suficientemente clara como para indicar, como mínimo, que el admitirlo no está ni mucho menos en desacuerdo con lo que ella parece mostrar en la manifestación externa de las acumulaciones rocosas y terrosas que la forman. Ello, por cuanto pasamos a resumir:

La superficie de la extensa vega granadina, de la que el terremoto afectó con carácter de 8° unos 20 de los 150 km.² que mide, está compuesta de aluviones, del Diluvial que después de apoyarse concordante y horizontalmente en unas calizas arenosas del Plioceno, lo hacen sobre las margas, areniscas y calizas del Mioceno ya discordante, que sólo asoma con claridad en la Zubia, Otura, Gojar y hasta Alhendín, o sea en su borde del SE.

Dicha sucesión de lechos de gravas, arenas, margas y calizas, horizontales todos menos los miocenos, es la que constituye el relleno del valle a gran depresión conmovida, y, cuyos bordes, ya del Secundario en su mayor parte, son: las sierras jurásicas de Parapanda y Harana por el N. y NE., las primeras estribaciones triásicas de Sierra Nevada por el S. y el SE., y la sucesión de sierras, en parte del Estrato Cristalino y nuevamente jurásicas las demás, de Jatar, Alhama, Tejeda y Zafarraya por los rumbos O. y SO. Dentro de ella, y a modo de testigo aislado de las mismas calizas que en general constituyen la casi totalidad de las sierras secundarias enumeradas, aparece el pequeño levantamiento, también jurásico, de Sierra Elvira, en el que, según todas las

opiniones, fué originado el terremoto que venimos analizando.

Continuando ahora con el horizonte de edad secundaria del que acabamos de citar sus diferentes individualidades orográficas y de dar una idea sobre su reparto entre dos o tres de los distintos períodos de que consta el Secundario, podemos asegurar que es perfectamente apreciable que unas u otras de sus formaciones están, además de muy plegadas en diferentes direcciones, rotas, erosionadas en exceso, y cortadas por fallas y trastornos tan importantes como el conocido con el nombre, ya indicador por sí solo, de «boquete de Zafarraya». En resumen, denota constituir una zona trastornada e insegura que al ir hundiéndose paulatinamente por su centro, tuvo que provocar numerosos terremotos y hacer posible que en la depresión que poco a poco fué formándose (con la sola excepción o resto de Sierra Elvira), penetrasen el mar terciario y, posteriormente, las areniscas diluviales, hasta llegar a almacenar el relleno poco consistente en que hoy se asienta toda la vega granadina y, por ende, la zona más afectada durante el seísmo del 19 de abril. Lo que puede completarse citando que su substratum profundo, a falta de todo afloramiento de terrenos paleozoicos, debió ser el de los inmensos macizos pizarrosos del Arcaico de las sierras Nevada, Jatar, Alhama y Tejeda, todas ellas incommovibles en sí mismas y capaces, por su solo volumen, de frenar o detener los efectos de cualquier terremoto nacido en el movimiento de deslizamiento, sobre ellas, de los macizos secundarios de estratigrafía más alta.

Consideramos que con lo dicho en los párrafos anteriores hemos apuntado hacia el porqué y la forma de propagarse el reciente terremoto granadino, el que, para nosotros al menos, no se diferenció del famoso de 1887, más que en que esta vez, y por fortuna, fué mucho

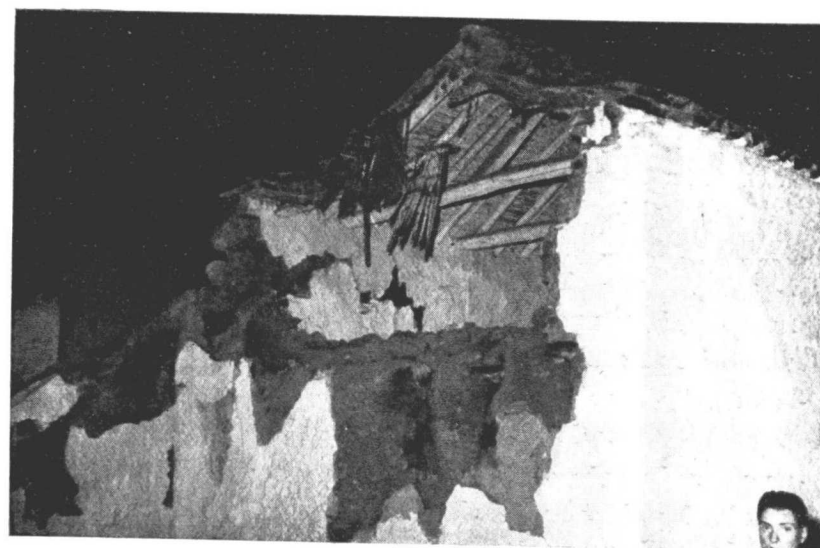
menor la profundidad de su hipocentro. Ahora, como entonces, se movieron dovelas corticales de formaciones secundarias; lo hicieron, seguramente, amoldándose a fallas tectónicas de orientación NE-SO. (Iznallor-Sierra Elvira-Alhama-Zafarraya) y aportaron la consecuencia directa de que la mayor intensidad de los movimientos quedó localizada en los pueblos más próximos a los bordes de él o de los deslizamientos: Arenas del Rey, Jatar Zafarraya, Colmenar, Fornes y Albuñuelas en el caso antiguo, y Atarfe y Albolote en el moderno.

Así como en 1887 el hipocentro muy profundo del seísmo fué bajo Zafarraya, y el plano de deslizamiento el marcado por la ladera Norte de las sierras de Alhama y Tejeda, en el del pasado mes de abril, su foco casi epicéntrico debió coincidir con el pie visible de Sierra Elvira, que fué la que sin duda se deslizó, seguramente de N. a S., sobre su substratum del Arcaico. Para nosotros no cabe, pues, la menor duda de que el último terremoto de Atarfe y Albolote fué de origen tectónico y de que, iguales o parecidos al ocurrido, podrán sobrevenir otros nuevos en el transcurso de tiempo, pues como intentamos explicar, consideramos a toda la provincia de Granada como zona en claro desequilibrio geológico.

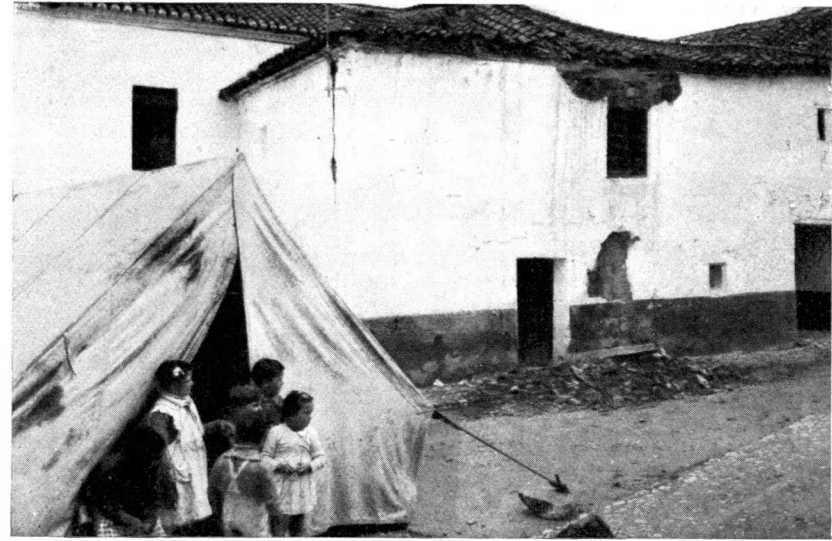
Terminamos haciendo votos porque nuestros temores resulten infundados y recomendando, como medida preventiva para el incierto futuro, que, en toda la vega granadina, se mejore y se refuerce el tipo de sus edificaciones.



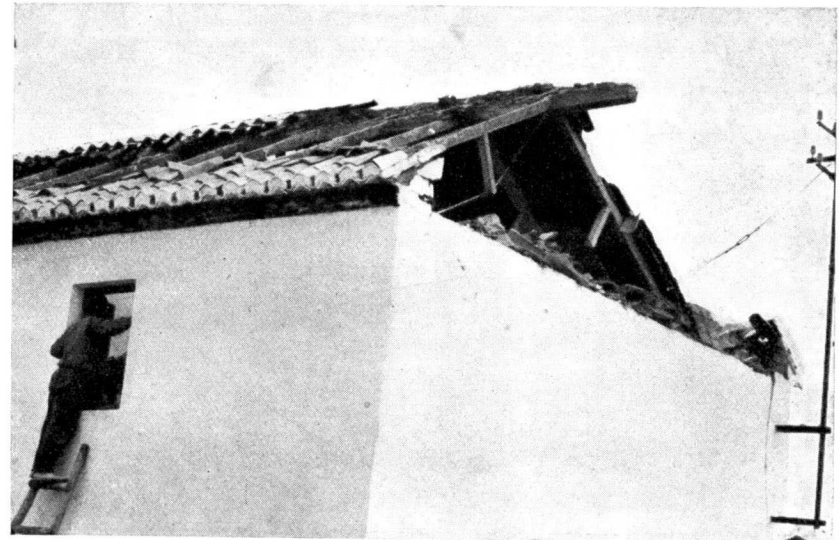
Casa derrumbada en Atarfe, en donde resultó un muerto y dos heridos graves.



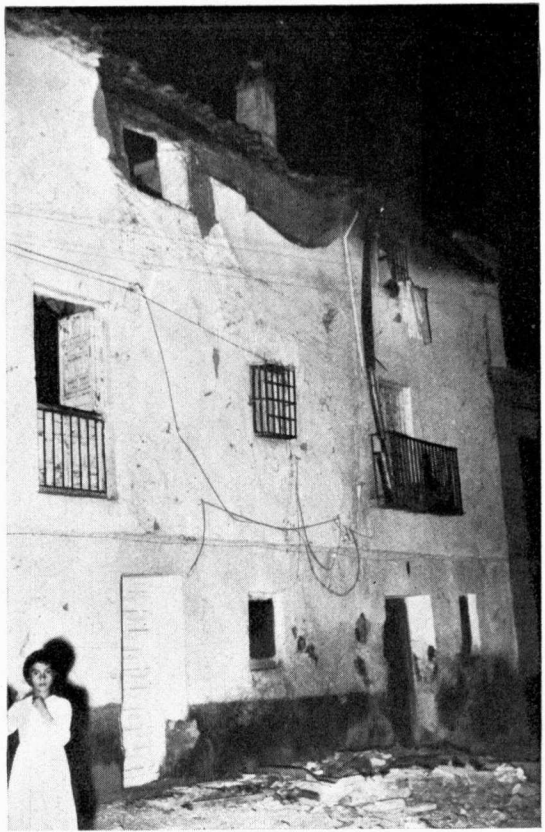
Otra casa de Albolote.



En Atarfe las tiendas de campaña cobijan a los pequeños que perdieron sus hogares.



La familia quedó encerrada y el padre trata de sacarlos por la ventana.



Casas de Granada en donde se derrumbaron parte de las techumbres, produciendo heridos graves.

Noticias

Reunión de Geoquímica.

La Comisión de Geoquímica de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada prepara una reunión en París del 16 al 22 de julio de 1957, con motivo de la reunión que tendrá la sección de Química inorgánica de dicha Unión.

El uranio de Alemania Occidental.

Por los acuerdos de París, se autorizó a la Alemania Occidental, para la construcción de un reactor de 10.000 kw, al que se le ponía un tope máximo en el consumo de material escindible de 3,5 Kg. al año. Dentro de la posibilidad de poder adquirir uranio en los Estados Unidos, parece ser que dispondrá del suficiente de procedencia nacional: parte de sus criaderos de Wittichen, donde se explota un mineral complejo de cobre, níquel, bismuto, plata y uranio, en el que se encuentran pechblendas con 60 al 85 por ciento de óxido de uranio. En estas minas hay escorias uraníferas procedentes de los tratamientos dado a las menas para el beneficio del cobalto y la plata. El resto del criadero de Weissenstadt consistente en unas corridas de pegmatitas uraníferas en el granito, donde el principal mineral de uranio es la torbernita

Central nuclear privada en Bruselas.

Se ha proyectado para la Feria Mundial de Bruselas de 1958 la construcción por una empresa privada de una central nuclear de 11.500 kw. a ocho kilómetros de la Capital. Además del suministro de energía eléctrica, es deseo de la empresa que lo finanza la utilización de la mencionada central para la formación de especialistas en ingeniería nuclear.

La energía nuclear en el Reino Unido.

Según el primer informe anual de la comisión de energía nuclear del Reino Unido se saca la impresión de la escasez de personal técnico con preparación suficiente en el campo de la ingeniería nuclear.

Han dado una preferencia al incremento del tratamiento de minerales de uranio y obtención del metal, indispensable para la realización del nuevo programa de energía nuclear.

Los establecimientos mineralúrgicos de Springfields dieron un gran avance en los procesos de concentración de minerales y obtención del hexafluoruro de uranio para el enriquecimiento en uranio 235 en los difusores.

Cooperación europea en la energía nuclear.

Del informe redactado por la comisión especial designada al efecto por la Organización Europea de Cooperación Económica, se deduce que el número de prototipos de reactores nucleares productores de energía en funcionamiento o en ejecución en los Estados Unidos es de veinte, mientras que en Europa sólo se cuenta con los cuatro ingleses y los dos franceses. Esta preponderancia de los Estados Unidos también se observa en lo referente a reactores de investigación donde hay unos treinta, mientras que en Europa sólo se cuenta con ocho. Además en los Estados Unidos hay dos destinados a la propulsión submarina.

La producción de elementos esenciales para los reactores da también un balance francamente favorable a dicho país; las instalaciones de enriquecimiento de uranio tienen una capacidad del orden del décuplo de la única europea, que es la de Gran Bretaña. Las instalaciones de obtención de agua pesada tienen una capacidad de veinte veces la de Noruega.

Se indica en el informe la necesidad de que se acometa e intensifiquen en Europa las instalaciones de separación isotópica, separación química de combustibles irradiados, producción de agua pesada, centrales nucleoelectricas y obtención de los metales a partir de los minerales.

Entre otras recomendaciones de gran importancia, es que dentro de las normas de cada país se orienten de una manera análoga las reglamentaciones de policía minero metalúrgica y de policía industrial; se cree un centro europeo para la especialización de los técnicos que se han de orientar en las aplicaciones nucleares y se intensifique lo más posible el intercambio de conocimientos nucleares, a los que hoy sólo les dan carácter secreto los países nuclearmente atrasados.

Los metales estratégicos en los Estados Unidos.

Según informe de la O. D. M., durante 1955 se alcanzaron por los Estados Unidos los objetivos mínimos de existencias de 38 materiales, y se han cubierto los objetivos de existencias estratégicas de 8, que son: abrasivos, óxido de aluminio bruto, asbestos, crisólito, crocidolita, grafito, metales alcalinos raros, tantalita y vanadio.

Del programa formado en 31 de diciembre de 1951 de inversión de 11.200 millones de \$ para este fin, se han invertido hasta 1955 la cantidad de 6.300 millones de \$.

El titanio.

Son extraordinarios los avances de la metalurgia del titanio encaminados al logro de que este metal sea de uso corriente. El objetivo principal es la sustitución, en parte, del acero inoxidable, debido a la insuficiente producción de éste, así como al precio.

Se observa la tendencia de que las fábricas de titanio queden en manos de las empresas siderúrgicas, de productos químicos y de metales no féreos. Otro detalle de interés es el incremento del consumo por parte de las fábricas de aviones que en los Estados Unidos alcanzó el 90 por ciento de la producción nacional.

TERCERA REUNION INTERNACIONAL DE REACTIVIDAD DE SÓLIDOS

Durante los días 2 a 7 de abril se celebró en Madrid la III Reunión Internacional sobre Reactividad de Sólidos.

De todos los interesantes trabajos presentados, sólo se indican a continuación aquéllos que más puedan interesar a los lectores de esta REVISTA.

Teoría general del estado sólido y de las reacciones en estado sólido.

J. Bénard.—El autor expone los resultados obtenidos, después de algunos años de investigaciones, en el dominio de la oxidación de los metales y sus aleaciones.

H. Bückle y Mme. Bückle.—Es conocido el hecho de que las aleaciones Al—Mn sobrecalentadas, después de un enfriamiento brusquísimo a partir del estado líquido, son susceptibles de retener hasta el 9 por ciento de Mn en solución sólida. Se describen los resultados de un examen micrográfico de las aleaciones binarias de Al que contienen alrededor del 3 a 7 por ciento de Mn (en peso).

F. Burriel Martí y M. E. García Clavel.—Aplicaciones del análisis termogravimétrico a las reacciones entre carbonatos y óxidos alcalotérreos con sulfatos, identificándose los productos resultantes por Rayos X y análisis químicos.

C. Duval.—En la preparación de cierto número de cromitas, por reacción en estado sólido, calentado el bicromato potásico con un cloruro metálico anhidro, se ha seguido la marcha de la reacción por inscripción gráfica con la termobalanza, obteniéndose los espectros infrarrojos de los compuestos preparados con el fin de conocer su estructura.

F. Endter.—Se presenta un método para seguir los procesos en fase sólida con ayuda de radiografías continuas.

D. H. Everett y A. E. P. Watson.—Un estudio detallado, de tipo dilatométrico, se ha realizado sobre el fenómeno de nucleación en la fase a 32° de transición del nitrato amónico en contacto con una disolución saturada acuosa. Se examina la cinética de la fase de la transición discutiéndose la dependencia de la concentración de los núcleos con la historia de la muestra.

H. Forestier y A. Claus.—Se estudia la influencia del gas adsorbido sobre la resistencia y elasticidad de hilos metálicos finos, por medio de la carga de rotura para el Au, Pt, Cu, Ag, W, Tu y Fe y el módulo de torsión para la plata, obteniéndose consecuencias similares para las características mecánicas.

E. Gutiérrez Ríos y A. Rodríguez García.—Con una técnica semejante a la de Brunauer, Emmett y Teller, se estudia la adsorción de vapor de acetona por montmorillonita. Se estudia la formación de complejos de inclusión interlaminares de la acetona en la montmorillonita a partir de las isoterms de adsorción correspondientes y determinaciones röntgenográficas. Se presenta la influencia que ejerce la naturaleza de los cationes de cambio sobre la formación de estos complejos.

T. C. Harman, S. E. Miller y H. L. Goering.—El Bi_2Te_3 , preparado a partir de Bi y Te purificados por múltiples destilaciones, presenta valores bajos de resistividad y altos de poder termoeléctrico si se obtiene por enfriamiento rápido del compuesto desde temperaturas superiores a su punto de fusión y posterior recocido, durante largo tiempo, a temperatura cercana a su punto de fusión. Se presenta la resistividad y poder termoeléctrico como una función del tiempo de recocido.

P. Jordán.—Un nuevo método de preparación y medida microscópica de polvos que presenten un alto grado de homogeneidad consiste en redondear primeramente los granos por erosión introduciéndolos en un torbellino de aire sobre una superficie rugosa y después pulir uno contra otro en disolución saturada. Se obtienen granos casi esféricos que se prestan bien a un calibrado severo.

M. Montel.—En la reacción en estado sólido, a 800° C., entre el pirofosfato de calcio y el fluoruro de calcio para formar la fluorapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, se inicia la reacción a temperatura muy inferior a la citada si el pirofosfato contiene pequeñas cantidades de sodio ($\approx 1\%$).

J. P. Roberts y J. Hutchings.—La influencia que el oxígeno ejerce sobre el sinterizado del óxido de cinc se estudia en una serie de diferentes polvos, discutiéndose diversas observaciones efectuadas.

N. Rielli y H. Ortmann.—Se estudian los aspectos químicos y cristalográficos de la aparición de centros de luminiscencia en el ZnS y ZnO .

F. S. Stone.—Relacionado con las investigaciones sobre la superficie química de los sulfuros metálicos, se estudia en el Ag_2S el cambio de conductividad, debido a la adsorción de gases, en las fases α y β . Las

medidas del poder termoeléctrico y los coeficientes de temperatura de la conductividad se relacionan con la estequiometría. Se presentan también algunos resultados sobre la superficie química del sulfuro de níquel.

L. Stuyts y H. B. Haanstra.—El crecimiento de los cristales en un material cerámico se presenta mediante la utilización del microscopio electrónico. La muestra usada en la investigación estaba compuesta por la materia hexagonal $\text{BaO} \cdot 5.8 \text{Fe}_2\text{O}_3$. Las muestras fueron sinterizadas en escalones entre 1.200° C. y 1.300° C., siendo determinadas áreas observadas con el microscopio electrónico de transmisión. La réplica se preparó con la técnica de carbón.

V. Terol Alonso y M.^a J. Otero de la Gándara.—Se estudian los espectros de emisión, las curvas de absorción y extinción, termoluminiscencia, fotoconductividad, etc., de los boratos de cinc anhidros puros, discutiéndose la naturaleza fisicoquímica de estos productos en relación con los centros de luminiscencia observados.

Cerámica, cerámica de polvo, refractarios y vidrio.

V. Aleixandre y D. Alvarez-Estrada.—Se estudian diversas composiciones de masas cerámicas compuestas principalmente de ortosilicato de circonio junto con otros componentes secundarios, óxidos alcalino-térreos y óxido de litio. Al estudiar las propiedades mecánicas, dieléctricas y térmicas más importantes de las masas sinterizadas obtenidas, teniendo en cuenta su temperatura y tiempo de maduración, se pone de manifiesto la influencia sobre dichas propiedades de los distintos óxidos componentes, especialmente de los alcalinos.

V. Aleixandre y J. García Vicente.—Se ponen de manifiesto las notables mejoras que experimentan las masas cerámicas de esteatita, en sus propiedades dieléctricas, al añadir cantidades variables de óxido de magnesio y bario, obteniéndose los mejores resultados cuando las citadas cantidades son las necesarias para reaccionar completamente con la sílice existente y con la que se libera de la descomposición del talco.

D. Alvarez-Estrada y C. Sánchez-Conde.—Se estudia la influencia de los elementos sobre algunas propiedades físicas de los vidriados de bórax y fósforo, orientados especialmente para su empleo como vidriados de porcelanas dieléctricas.

E. Aparicio Arroyo.—La resistencia del CaF_2 al ataque del uranio fundido, a la acción reductora del calcio y al HF, y el hecho de producirse en la calcioterma del UF_4 , hacen de la fluorita natural, convenientemente purificada, un excelente material refractario y de revestimiento para la metalurgia del uranio. Se exponen parte de los estudios realizados para la puesta a punto de la fabricación de crisoles, losetas y revestimientos especiales de fluorita en una planta de producción de uranio.

P. de la Cierva, F. de Andrés y A. Perales.—En este trabajo se continúan las experiencias realizadas en el Laboratorio y Taller de Investi-

gación del Estado Mayor de la Armada hasta conseguir la producción regular para fusión de vidrio óptico, estudiándose detenidamente la influencia de la concentración de electrolitos en el cátodo.

P. de la Cierva, F. de Andrés y M. Rodríguez.—En la fabricación de crisoles para vidrio óptico, se estudia la atacabilidad de los mismos por el vidrio fundido, realizándose la observación con un microscopio metalográfico.

J. L. Fernández Alonso y F. Castell Landete.—Se estudian, mediante curvas de deshidratación y análisis térmico diferencial, las reacciones de obtención de los titanatos de bario, plomo y calcio, separadamente y en conjunto, partiendo de diferentes compuestos y variación de algunas condiciones.

J. I. Fernández Alonso y L. Rodrigo Rodrigo.—Por medidas de viscosidad absoluta se estudian las acciones ejercidas en barbotinas de porcelana por defloculantes diversos, con el fin de poder facilitar el proceso industrial de colada.

H. Forestier y A. Mangin.—El endurecimiento por revenido de una solución sólida sobre-saturada templada de alúmina en la espinela de magnesio se ha seguido midiendo la dureza con un microdurómetro, obteniéndose que a temperatura constante la dureza aumenta proporcionalmente al logaritmo del tiempo hasta alcanzar un máximo, decreciendo después. La pendiente de la recta, dureza en función del log. t , que constituye el factor cinético del fenómeno de endurecimiento, aumenta con la temperatura.

J. González Carrero.—Los borosilicatos, constituyentes esenciales de los modernos «vidrios neutros», puestos en presencia de líquidos conteniendo grupo diol en C contiguos, ocasionan una cesión de boro que es causa de importantes cambios en las propiedades de aquellos líquidos, como se demostró en un trabajo anterior. Ahora se determina que aquellos mismos dioles (gluconato) ocasionan simultáneamente un fuerte arrastre silícico, el cual, asociado al boro, aclara mejor las alteraciones de las propiedades.

R. K. S. Jagitsch.—Investigaciones sobre la composición química de la superficie del vidrio.

J. de Jong.—Se hace un amplio estudio sobre las reacciones que ocurren, durante la combustión, entre el hierro y cristal, utilizando el microscopio de reflexión, microscopio electrónico y Rayos X, prestando especial atención al papel de ciertos óxidos en el cristal.

W. L. de Keyser y L. Degeldre.—Gracias a una técnica especial se estudian de una manera directa las transformaciones que sufren los materiales sílico-aluminosos en el estado sólido durante la cocción. Se hace un estudio comparativo de los resultados obtenidos por el examen del microscopio electrónico y los que proporciona el análisis radiocristalográfico.

M. Y. Letort.—La formación de depósitos de carbono expansivo por disociación del óxido de carbono al contacto de elementos ferruginosos de productos refractarios.

J. Robredo Olave y P. H. Dal.—Basándose en consideraciones sencillas se llega a establecer la ecuación siguiente:

$$\sigma_{20^{\circ}\text{C}} = R - \frac{E_1}{1 - \mu} \left\{ \alpha_2 (t_H - 20) + \epsilon_h \right\}$$

que permite calcular la tensión a que está sometida la capa de esmalte a la temperatura ordinaria. Se han realizado ensayos de choque térmico sobre bizcochos esmaltados, según varios métodos, y los resultados se comentan a la vista de otras publicaciones. Los valores calculados a partir de la fórmula propuesta, para la tensión en el esmalte, se comparan con los medidos directamente con ayuda de un microscopio polarizante provisto de un compensador, según Bérek.

H. Salmang.—Causas del estado plástico y viscoso en el sistema arcilla-agua.

C. Sánchez Conde y E. A. Jumpertz.—Sobre el análisis radiográfico cuantitativo de mezclas en los sistemas ternarios.

J. Terraza Martorell y E. Aparicio Arroyo.—Se estudia un proceso de obtención de porcelana mullítica partiendo de andalucita masiva. Se determinan las características de este mineral y los métodos de concentración.

A. G. Smekal.—Grietas lanceoladas en la superficie de rotura del vidrio.

Minerales, reacciones minerales y petrogénesis.

T. F. Barth.—Relacionadas con las estructuras zonales, se estudian las dos fases de feldespato encontradas en esquistos cristalinos, las cuales son cristales mixtos de feldespato K-Na (usualmente pertita) y cristales mixtos de feldespato Ca-Na (plagioclasas). El tipo de zona en los feldespatos de esquistos cristalinos estará relacionado con la temperatura creciente o decreciente durante el desarrollo del feldespato.

W. Buser y A. Grütter.—Investigaciones sobre la transmutación de isótopos en los nódulos de manganeso.

J. M. Coteló Neiva.—Se estudian los bordes quelefiticos en algunos minerales de norita en Portugal, explicando su génesis por medio de reacciones en un medio sólido.

J. M.ª Fuster y E. Ibarrola.—Se presenta una nueva interpretación de las estructuras zonales de las plagioclasas, encontrando que las zonas de composición análoga situadas en distintos niveles del mismo cristal pueden haberse formado simultáneamente y no en períodos de tiempos sucesivos, y que el zonado de las plagioclasas en muchas rocas plutónicas y volcánicas puede deberse, en parte, a procesos de emigración iónica en el interior de los cristales previamente formados.

C. Gaibar Puertas y J. M. González Peña.—Se presenta un avance de los resultados obtenidos al estudiar la composición de algunos sedimen-

tos oceánicos del litoral gallego, realizándose actualmente sobre la fracción arcilla, fraccionada por sedimentación, siguiendo el criterio empleado en los suelos, su análisis químico, análisis térmico diferencial, curvas de deshidratación, Rayos X y microscopio electrónico. Este último detecta láminas muy finas y extensas, que pueden ser de mica, y otras cuya forma y tamaño hacen suponer la existencia de un material ílitico.

L. C. García de Figuerola.—Las muestras, analizadas químicamente, de pizarra cámbrica encontradas en la construcción de un horno antiguo presentan entre sí grandes diferencias estructurales y químicas, semejando las que han sufrido mayor temperatura verdaderas pumitas. Se discute la culminación geoquímica de los constituyentes más importantes y se construyen algunas curvas comparativas.

A. Hoyos de Castro y M. Delgado Rodríguez.—La aplicación del análisis térmico diferencial al estudio de las transformaciones en las antigoritas permite comprobar la existencia de efectos endotérmicos correspondientes a pérdida de H_2O , con destrucción total o parcial de la estructura primitiva, seguidos de picos exotérmicos, comprobándose por Rayos X que pertenecen a nuevos minerales.

A. Hoyos de Castro y M. Delgado Rodríguez.—Por métodos de Rayos X se estudian las transformaciones térmicas en antigoritas, presentando una ecuación que podría expresar la reacción correspondiente.

A. Hoyos y A. Mata.—La existencia de solfataras en la cima del pico del Teide permite suponer un profundo ataque químico en condiciones ácidas de las rocas allí existentes. De los estudios realizados se deduce que una de las muestras está constituida casi en su totalidad por alumnita, mientras que las restantes contienen caolinita y muy poca alumnita. La formación de alumnita supone un ataque por ácido sulfúrico de mayor concentración que en el caso de la formación de caolinita.

J. L. Martín Vivaldi y J. Cano Ruiz.—En el ataque de la sepiolita con ácido clorhídrico diluido, a diferentes concentraciones, se observan diferentes resultados. El material resultante es sepiolita no atacada, movilizándose al líquido de ataque todos los componentes del retículo. La modificación estructural que se produce por calentamiento a $400^\circ C$ le hace más resistente al ataque. Se hace algunas experiencias similares con atapulgita como comparación.

J. L. Martín Vivaldi y C. del Pino Vázquez.—Se obtienen diversas conclusiones acerca de los tipos de roca y los agentes capaces de originar montmorillonita en la Naturaleza mediante determinaciones químicas, radiográficas y térmicas, medidas de superficie y examen al microscopio electrónico de materiales de distinto grado de transformación de los yacimientos de bentonita de Marruecos español y Cabo de Gata.

L. Martín Vivaldi, C. del Pino Vázquez y J. Cano Ruiz.—Al estudiar la acción del diazometano en medio etéreo sobre caolinita, se comprueba que no todos los H^+ de la superficie del silicato son metila-

bles. En la metilación de muestras homoiónicas de montmorillonita con los cationes Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} y Zn^{2+} preparadas a diferente pH, se ha observado que la suma de H^+ metilables y de cationes de cambio existentes decrece a medida que disminuye el pH.

F. de Pedro Herrera.—Las migraciones de elementos y el concepto de estado sólido en Geoquímica se aborda con un resumen de datos y observaciones en intento de esclarecer si tiene lugar en forma iónica o molecular. Se discute el considerar a las rocas como producto de la composición, por la temperatura, por la presión y por el tiempo, dentro del campo energético terrestre.

A. San Miguel Arribas y J. A. Fernández Polo.—Con objeto de demostrar sus amplias posibilidades interpretativas, dentro del campo de la Petrogénesis, y el papel importante que desempeñan las reacciones al estado cristalino en la génesis y evolución de las rocas graníticas, se exponen los resultados preliminares de unas investigaciones realizadas sobre algunas rocas graníticas de la Costa Brava, en las que se ha atendido preferentemente al estudio de las estructuras de intercrecimiento.

M. San Miguel de la Cámara.—En varias áreas metamórficas de las provincias de Segovia y Madrid, se ha observado la formación de cristales de feldespato, nódulos aplítico-pegmatíticos y masas pegmatíticas, rodeadas por todas partes de roca metamórfica, capas interestratificadas de roca aplítica o pegmatítica y capas que cortan la estratificación con apariencia de diques, pero que no tienen los caracteres de éstos y se ve el paso de la pegmatita a la roca metamórfica, quedando a veces láminas de mica, parte en la pegmatita y parte en la roca envolvente. También se forman cristales nuevos de turmalina, de andalucita y de estaurólita, sin aportes magmáticos ni pneumatolíticos. Todo el complejo metamórfico y las pegmatitas se han formado a expensas de sedimentos silíceos filitas satinadas, areniscas arcillosas ferruginosas y cuarcitas; las primeras han originado micacitas, embrechitas, los nódulos pegmatíticos y las masas, capas y venas de pegmatita. Las segundas, las cuarcitas micáceas y micacitas cuarcíticas. La pegmatización o feldespatización de estas rocas se debe a un proceso de difusiones de iones en doble sentido, álcalis en uno; hierro, magnesio y calcio en otro. La concentración de los primeros produce el cristal o núcleo feldespático y, finalmente, la pegmatita; los segundos se separan de la roca primitiva y se concentran en los bordes del cristal nódulo o de la pegmatita, formando una capa o especie de cáscara de biotita. Así la pegmatita queda prácticamente desprovista de hierro, magnesio y calcio, teniendo como único mineral mafítico la moscovita; y las rocas envolvente, se cargan de biotita y forman micacitas biotíticas, micacitas estaurólíticas y cuarcitas micáceas. La turmalina se ha formado también por metasomatismo, a expensas del boro y hierro existente en las rocas sedimentarias.

M. San Miguel de la Cámara y F. de Pedro Herrera.—Referente a

la evolución geoquímica de micacitas a granitos, los resultados químicos efectuados sobre rocas metamórficas con aumento progresivo en sus cualidades glandulares, ponen de manifiesto que un aumento de sílice va acompañado de lo mismo respecto a calcio y elementos alcalinos, mientras que disminuye la alumina ligeramente y mucho más el hierro, como características más acusadas. El paso a granitos se estudia en fenómenos del actual contacto, con las variaciones presentadas tanto por los elementos mayores como los menores, determinados espectroquímicamente.

J. M. Serratosa Márquez.—Se estudian las variaciones en las bandas de absorción infrarroja y su relación con los cambios de estructura producidos en los minerales de arcilla sometidos a tratamiento térmico.

P. C. Tarte.—En el estudio, por espectrometría, de las reacciones entre halógenos alcalinos y sustancias minerales, en las condiciones experimentales utilizadas, no hay generalmente reacciones apreciables, salvo en dos tipos de casos particulares: 1.º) Cuando una de las sustancias susceptibles de formarse es insoluble en agua, y 2.º) Cuando puede formarse un compuesto de adición.

J. H. Welch.—Se describen algunas observaciones sobre el comportamiento de la anortita o temperatura sub-sólidos, usando la técnica de observación a altas temperaturas por medio de un microscopio.

H. Wondratschek.—Se estudia los procesos que tienen lugar en la deshidratación del crisotilo.

Cemento y minerales de cemento

G. Assarson.—Se estudia la reacción hidrotermal entre el hidróxido de calcio y sílice amorfa durante las primeras 48 horas del tratamiento de autoclave dentro del campo de temperaturas 120-220° C en atmósferas saturadas de vapor y no saturadas.

L. Bachmann.—Investigaciones con microscopios ópticos y electrónicos sobre la descomposición térmica de la magnesita.

F. Burrel Martí y D. Gaspar Tebar.—En la contribución al estudio de las reacciones entre el óxido de calcio y compuestos silícicos activados a temperaturas inferiores a 1.000° C, el grado de reactividad se determina por medio de análisis químicos, y los compuestos formados por medio de análisis termogravimétricos, térmico diferencial, microscopio y Rayos X.

J. Calleja Carrete.—Empleando una técnica distinta a la empleada en trabajos anteriores, se logra una mayor precisión en los resultados experimentales hallados referente a la estructura del clinker en el cemento Portland.

J. Calleja Carrete.—En el estudio de la influencia del contenido en yeso del cemento Portland sobre la retracción de las pastas, morteros y hormigones, se llega a la conclusión de que, en general, es conve-

niente elevar la cifra máxima de SO_3 , mantenida en la actualidad en la mayor parte de las normas para cementos.

E. Cremer.—Estudio sobre la cinética de la reacción de la magnesita sinterizada con el ácido carbónico en presencia de agua.

C. Gorla y G. Noto la Diega.—Con el fin de revelar el mecanismo del ataque del cemento Portland por las aguas sulfatadas, se aplica el ensayo Anstett a diversas muestras. Los resultados obtenidos muestran que la resistencia química se garantiza por la formación de una solución sólida de sulfoaluminio-sulfoferrita hidratada cualquiera que sea la procedencia del hierro.

D. Guinea Herrero.—Se ha estudiado la influencia de la finura de molido del cemento en las resistencias mecánicas de su mortero, encontrándose una correspondencia lineal entre la superficie específica Blaine y la resistencia a tracción y compresión.

D. Guinea Herrero.—Los trabajos de Bogue y otros investigadores indican que en las propiedades del cemento importa más la composición potencial que la elemental. Se expone la composición de fase de cementos españoles fabricados durante los diez últimos años para criticar la evolución de la industria nacional del cemento.

D. Guinea Herrero.—Para dosificar la cantidad de yeso que debe añadirse a un clinker para retardar correctamente el fraguado de su cemento puede emplearse el método de extracción acuosa de la pasta de Lerch. Al aplicarla se encontró que las cantidades de yeso que deberían añadirse a los cementos españoles exceden, en la mayor parte de los casos, a las toleradas por el Pliego español. Se determina la influencia que estas cantidades aparentemente excesivas de yeso ejercen sobre las propiedades, demostrando que no solamente no son perjudiciales sino que mejoran sus propiedades mecánicas.

W. L. de Keyser.—Para estudiar la formación de compuestos binarios $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$; CaO/SiO_2 , se utiliza un método que consiste en poner en contacto dos pastillas y estudiar el mecanismo de las reacciones por medio de la observación óptica de las capas reaccionales, y también por medio de Rayos X y con la ayuda de trazadores radioactivos.

M. Lepingle y J. Elian.—Se constata la posibilidad de utilizar solos o en mezclas los constituyentes anhidros de los aglomerados hidráulicos como algunos promotores de condensación en química orgánica.

H. D. Megaw y C. H. Kelsey.—Se determina la estructura cristalina de la tobermorita (silicato cálcico hidratado), dando una composición media para el cristal de $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{22}\text{H}_{10}$ ($\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$).

M. Pintado, E. Asensi Alvarez-Arenas y J. M. López de Azcona.—Empleando el método de disolución del cemento, electrodo soporte de grafito, como medio de excitación, la chispa producida por la descarga de un generador Feuessner y como patrón interno el cobalto, se valoran espectroquímicamente el Ca, Al, Fe y Mg en los cementos Portland. Los errores cometidos son, en general, inferiores al 8 por 100 del con-

tenido en elemento analizado. Se estudia también la influencia ejercida en la valoración por la presencia de uno o varios elementos químicos presentes.

Meturgia y metalurgia de polvo

M. P. de Andrés y W. Jellinghaus.—Se estudia el efecto de Hall en hierro muy puro. Se aplican, por vez primera, las medidas de la variación de la tensión de Hall a los aceros bonificados para el estudio de la zona intermedia de la transformación de la martensita durante el revenido o temperaturas entre 200 y 300° C. siguiéndose paralelamente esta transformación por medidas resistométricas.

F. Benesovsky y W. Hotop.—Sintetizado de aceros de aleación con fase líquida.

A. Burdese y C. Brisi.—Se ha verificado una investigación sistemática encaminada a la identificación de las fases que aparecen en los productos de corrosión de los materiales metálicos en presencia de V_2O_5 . Se determina el grado de la corrosión en función del tiempo y se realizan observaciones röntgenográficas y microscópicas con el fin de estudiar el mecanismo de formación, la adherencia y la constitución química de las capas oxidadas.

F. A. Calvo Calvo.—Se discuten las estructuras presentes en cada punto de la zona afectada por el calor de soldadura en aceros al C. Se determina la transformación perita \rightarrow austenita eutectoide \rightarrow martensita, que comienza en el seno de los granos perlíticos y no en su superficie externa, límite de los mismos. La presencia de los núcleos de martensita encontrados puede explicar algunos de los fenómenos de fisuración que aparecen en los aceros dulces de bajo contenido en carbono.

V. Cirilli, A. Burdese y C. Brisi.—Estudio sobre los sistemas entre el anhídrido vanádico y los óxidos de hierro, cromo, níquel y cobalto. El fin de la experimentación es la determinación de los diagramas de estado, en los cuales aparece el anhídrido vanádico, cuestión importante desde el punto de vista teórico y práctico de los fenómenos de corrosión de las aleaciones metálicas sometidas a alta temperatura en presencia de V_2O_5 .

M. J. Bruyvesteym.—Las imperfecciones pueden introducirse en un metal por deformación plástica a baja temperatura. La resistividad y el valor de fluencia se incrementa con la concentración de imperfecciones de forma distinta. Se discuten posibles imperfecciones. Diferentes autores obtienen diversos valores para la energía de activación de un escalón de recuperación. Esto puede ser debido a errores experimentales o a la influencia de tensiones internas.

J. O. Edström.—El sistema $CaO-Fe_2O_3$ ha sido revisado en su parte rica en Fe_2O_3 . Se muestra que existe una fase de composición

correspondiente a $CaO \cdot 2Fe_2O_3$, pero solamente dentro de un bastante estrecho campo de temperatura. La fase indicada existe como compuesto estable a las temperaturas usadas en la producción de pastillas de mineral.

R. Fruchart y A. Michel.—Se preparan cementitas especiales, por síntesis, por difusión en el estado sólido del boro, en la cementita pura; se pone a punto otros métodos de preparación. Estas cementitas al boro son estudiadas bajo el punto de vista estructural y de su ferromagnetismo.

J. A. García Poggio y A. Camuñas Puig.—Dada la importancia tecnológica que presenta la fragilidad de los aceros templados y revenidos entre 250-400° C, sobre todo en la actualidad, en que se tiende a realizar el revenido de los aceros en las zonas de temperaturas bajas, con objeto de alcanzar resistencias elevadas a la par que unas características de plasticidad aceptables, hemos creído de interés el contribuir a la investigación de las causas fundamentales de tan perjudicial fenómeno. Para ello hemos rectificado, a la par que los ensayos de resistencia necesarios para poner en evidencia tal fragilidad, un estudio metalográfico con el microscopio electrónico. Los resultados obtenidos parecen poner en evidencia que la fragilidad del revenido que nos ocupa se presenta en mayor o menor escala en todos los aceros en el comienzo de la tercera etapa del revenido, en el cual la cementita se desarrolla en forma de película que envuelve las agujas de martensita, pudiendo atribuirse a esta especial morfología de la cementita las causas de tal fragilidad.

L. R. Häkka.—Se presenta un método para medir la distribución del tamaño de grano relativo en el polvo de WC, basado en la hipótesis de que la velocidad de disolución del ácido fosfórico, ácido nítrico y agua (2:2:11), es aproximadamente proporcional a la superficie total del polvo.

G. F. Hüttig.—Marcha de la formación de aluminio de cinc a partir de cinc y óxido y aluminio con ayuda de isótopos radioactivos y procesos análogos en la metalurgia de polvo.

R. Kieffer, F. Benesovsky y B. Flux.—Comportamiento de siliciuros ricos en metal respecto del carbono, nitrógeno, boro y oxígeno.

W. Köster.—Amortiguación y módulos de deslizamiento del cobre y oro deformados y recristalizados.

K. Löhberg.—La influencia del estado del material sobre el escamado del cobre.

M. López Rodríguez, J. Díaz Díaz y J. Terraza Martorell.—Como contribución al método Van-Arkel para la purificación de metales, se han estudiado teóricamente las curvas que determinan los procesos de depósito isotérmico del metal, dándose gráficas con la marcha de las variables que se han de utilizar prácticamente en un proceso industrial. Las experiencias se han efectuado para el caso de circonio, depositado sobre wolframio.

J. C. Plateuw y G. Meyer.—Se describe un nuevo proceso para la recuperación del estaño o dióxido de estaño de los concentrados oxidados de estaño. Los experimentos de volatilización muestran que la separación del estaño del hierro puede conducirse cuantitativamente. La conversión de óxido estannoso gaseoso en estaño o dióxido de estaño es fácilmente realizable.

P. Schwarzkopf.—La metalurgia del polvo es la lógica elección como procedimiento para la producción de alabes de turbina. Dos caminos diferentes pueden seguirse: 1) uso de los llamados «cormets», como por ejemplo, carburos cementados, y 2) uso de álabes de molibdeno protegido contra la oxidación y corrosión por un conveniente depósito.

A. Vargas Gold.—Se trata del desarrollo de la metalurgia de polvo en España, en especial referencia sobre la fabricación de piezas porosas (cojinetes autolubricantes) y demás piezas, partiendo de bronce o mezcla de cobre y estaño. El desarrollo actual de esta industria en nuestra Patria y las dificultades presentes para su desarrollo serán igualmente tratadas.

R. E. Zimen.—Se ha investigado la corrosión del uranio en H_2O y D_2O como una función del tiempo y temperatura y con diferentes impurezas presentes en el agua. Se encontró que la función tiempo puede describirse como $\Delta m/q = 1'' t$, donde $\Delta m/q$ es la pérdida de peso por unidad de área de superficie. Se ha medido la reacción constante y determinado la energía de activación en el campo de temperatura de 50° a 200° C. La corrosión no es muy dependiente de las impurezas del agua y ninguna diferencia se observó con o sin Al en contacto con el U durante la corrosión.

E. A.

Notas informativas

Hoja núm. 819. Caudete.

La hoja de Caudete está situada en el límite de las provincias de Albacete, Valencia, Alicante y Murcia.

Se trata de una región muy desigual, con zonas montañosas, de suelo rocoso y prácticamente deshabitadas, y amplios valles, muy fértiles, en los que se encuentran buenos cultivos de regadío.

Las comunicaciones están asimismo muy desigualmente repartidas. La parte oriental de la hoja está cruzada por dos carreteras de primer orden, varias comarcales y dos ferrocarriles, mientras que otra carretera discurre de Norte a Sur, próxima al extremo occidental, permitiendo el acceso a esta zona.

La parte central de la hoja no puede ser alcanzada, en cambio, más que por pequeños senderos, intransitables para cualquier vehículo.

Los dos pueblos más importantes de la hoja, Caudete y Fuente la Higuera, son aldeas agrícolas; el otro centro habitado, La Encina, es únicamente un nudo ferroviario.

El clima de la región es continental, con inviernos fríos y secos, y veranos calurosos.

La Estratigrafía de esta zona se ve dificultada por la escasez de fósiles característicos en las series Cretáceas. Afloran únicamente formaciones cretáceas, miocenas y cuaternarias.

Dentro del Cretáceo hemos distinguido el Aptense, calizo y margoso; el Cretáceo Medio (que agrupa Albense, Cenomanense y Turonense), y el Senonense, dibujándose las manchas correspondientes en el Mapa que acompaña a la Memoria descriptiva.

En el Mioceno se distingue el Burdigaliense, con su «tap» margoso característico y la formación caliza basal, y el Mioceno Superior, que incluye quizá niveles ya pliocenos.

La Tectónica local es bastante compleja, distinguiéndose una serie de accidentes, que describimos en la Memoria, y que aquí nos limitamos a reseñar.

Son estos accidentes:

- 1.º Anticlinal múltiple de la Sierra de Benejama.
- 2.º Conjunto de fallas del Cupurucho de Fuente la Higuera.
- 3.º Anticlinal de la Sierra de la Oliva.
- 4.º Sinclinal del Valle de la Milagrosa.

- 5.º) Anticlinal de Torregrande.
- 6.º) Estructura fallada de la Sierra del Cuchillo.
- 7.º) Anticlinal del extremo Sudeste.
- 8.º) Anticlinorio del Oeste de la hoja.

Es digno de hacer notar que las alineaciones de la mitad oriental de la hoja tienen dirección SO.-NE., mientras que las de la mitad occidental se dirigen de SE. a NO.

A continuación se hace un estudio de la situación de la hoja en relación con los grandes dispositivos de Tectónica Regional. La región en que está situada la hoja de Caudete corresponde a una zona de transición entre la Tectónica Bética, al Sur, y la Celtibérica, al Norte.

Los últimos párrafos del capítulo de Tectónica se dedican a establecer un bosquejo de la historia geológica de las diferentes formaciones, así como una síntesis orogénica del país.

El capítulo siguiente de la Memoria está dedicado al análisis de los trabajos anteriores.

Se comentan principalmente las obras de Nicklés y de Darder Pericás, y, finalmente, los trabajos de Brinkmann, primeramente solo, y a continuación en colaboración con Gallwitz.

Para todos estos autores, la zona de Caudete constituye un área marginal, fuera del verdadero objeto de su estudio, y por eso es considerada con menos detalle y exactitud.

Seguidamente publicamos unos esquemas comparativos de la representación de la hoja en los diferentes mapas estratigráficos, y en el que acompaña a esta Memoria.

El capítulo siguiente está dedicado al estudio de las aguas subterráneas. Es problema éste de interés, especialmente en los valles donde existen cultivos de regadío.

Las formaciones aptenses son muy apropiadas para la captación de aguas subterráneas, ya que debajo de las extensas formaciones del Aptense calizo, suele existir un nivel margoso.

Las formaciones calizas del Cretáceo Superior no suelen ser apropiadas para este objeto, ya que son escasos los niveles margosos intercalados.

En cuanto a las series miocenas, el tap burdigaliense es permeable, y en los lugares en que aflora impide la filtración de agua. Cuando está recubierto por formaciones porosas del Cretáceo Superior, o Cuaternario, da lugar a muy buenas fuentes.

Por último, el capítulo final de la Memoria está dedicado al estudio de las explotaciones mineras y canteras, que en la hoja carecen por completo de importancia. No existen yacimientos minerales de interés, y las canteras en explotación están dedicadas únicamente a satisfacer las pequeñas necesidades locales.

Hoja geológica de Burguillos del Cerro, núm. 853.

La Hoja geológica de Burguillos del Cerro queda enclavada en lo que pudiera denominarse Serranía de Jerez de los Caballeros, país relativamente quebrado, recorrido por alineaciones arrumbadas según la orogenia hercínica, en general muy arrasada, pero que habiendo dado origen a extensa y uniforme penillanura ha sido rejuvenecida por la acción erosiva remontante de los cauces que se dirigen de N. a S. hacia la encajada ribera del río Ardila.

La topografía es compleja, si bien no se acusan en general los grandes desniveles, salvo cuando determinadas alineaciones de rocas de gran resistencia, cuarcitas, calizas o determinados berrocales graníticos, dan origen a relieves residuales, más o menos destacados, pero que no alcanzan nunca gran desarrollo ni acusada altitud, la cual oscila entre los 820 m. que alcanzan los relieves granítico-cuarcitosos al SE. de Salvatierra de los Barros, y los puntos más bajos del mapa, situados en los cauces de los riachuelos Brovales y de San Lázaro, donde el país desciende, respectivamente, a 280 y 320 m. de altitud, pudiendo ser considerada como valores medios de ésta la de 350 a 450 m.

Tal país, constituido por restos de una formación del paleozoico inferior, relativamente compleja por su litología, sobrepuesta a un extenso batolito fundamentalmente granítico, aparece recorrido por una red fluvial representada sólo por las cabeceras y el tramo alto de arroyos y riachuelos de no gran importancia que fluyen hacia el Ardila, que queda al S. y que corre de E. a W. Esta red, sufre un estiaje total al comienzo del verano, salvo algún pequeño arroyo que se mantiene con pequeño caudal, en las inmediaciones de su nacimiento. Tal ocurre en los arroyos que se originan en el calerizo del valle de Santa Ana.

El fundamental carácter de este país, es el estar formado por terrenos del Paleozoico inferior, pizarroso-cuarcitoso, con potentes masas calizas intercaladas en el conjunto, correspondientes al Cambriano-Siluriano, siendo las calizas exclusivas del primero y correspondientes al acadiense, y las pizarras y cuarcitas bien del Cambriano superior o del ordoviciense.

Tal conjunto aparece intensamente afectado por la orogenia hercínica, si bien ésta esté muy destruída y arrasada en amplias zonas hasta sus más profundas raíces, formaciones que se han conservado mejor allí donde las rocas duras antes citadas, cuarcitas, pizarras y calizas, forman el terreno, zonas que son, como se ha dicho, las de más exaltado relieve.

Donde el Paleozoico ha sido destruído por erosión queda al descubierto el berrocal granítico, en el cual se aprecian manchones de difícil delimitación, formados por dioritas y, especialmente, por grandes masas

de gabros, manchas que pueden también presentarse solas, como ocurre con el manchón de gabros situado al W. de la alineación caliza que comienza en el vértice de San José y que corre hacia el NW.

Las masas graníticas y demás materiales eruptivos granudos son sintectónicos, muy probablemente con la fase fundamental de la orogenia hercínica, y han dado origen, al inyectarse en los conjuntos paleozoicos, y en especial de las pizarras, a materiales metamorfizados; es decir, a ectinitas, que en estas zonas representan muy especialmente al conjunto del tipo medio, o sea a pizarras micáceas y micacitas, que pueden ir acompañados de niveles ectínicos más altos, pasando ya a pizarras con estaturotita o chiorbolita, o sea a tipos pizarrosos moteados. Tal metamorfismo regional, muy intenso, en ocasiones ha afectado al conjunto pizarroso, que ofrece acusada facies estrato-cristalina, que también ha sufrido intensos y típicos fenómenos de migmatización que pueden, en algunos casos, haber originado rocas granudas, granitos de anatexia.

Los materiales de facies estrato-cristalina dan origen a grandes masas con cierto aspecto gneísico alterada, ofreciendo escasa resistencia, que, en general, aparecen ocupados por campos cultivados.

Los granitos, en general, dan origen a monótono berrocal, como ocurre en los alrededores de Burguillos del Cerro, al W. y SW. de Salvatierra de los Barros, berrocal que se extiende amplio por el centro y al SE. de la Hoja. A veces, tales masas están alteradas, dando origen entonces el campo granítico a terrenos arenosos, los «arenales», que se explotan casi siempre en régimen de pastizales, con o sin arbolado de encinas y alcornoques.

Las calizas, lo mismo que las pizarras, están también intensamente metamorfizadas y dan origen a masas de tipo mármoleo, de aspecto muy variado, y cuyo tipo, ya clásico en la comarca, son los célebres mármoles de Alconera, que estuvieron hasta hace poco en explotación.

Pizarras, y en especial cuarcitas cambrianas y silurianas y calizas cambrianas, se arrumban al NW., estando siempre sumamente replegadas y formando, como ya se ha indicado, cobertura más o menos potente del conjunto rocoso eruptivo.

Fenómenos derivados del metamorfismo han dado origen a una minería relativamente rica y en cierto modo comarcal de hierro, siendo mineral genuino de esta comarca las magnetitas de Burguillos del Cerro y de Jerez de los Caballeros, que ya llevan en explotación algunos años. Acompañan a los minerales férricos de tipo magnetítico, los oligistos y las hematites, que a veces están en relación con criaderos cobrizos, como ocurre con la mina La Abundancia, al E. del término municipal de Salvatierra, ya casi en el borde oriental de la Hoja, y también a manganesos.

Esta minería, y en especial la de hierro, es de origen hidrotermal, apareciendo especialmente los filones hacia el borde de los batolitos, armando bien en la masa granítica o en el pizarral o calerizos. Mina típica

de hierros es la que se viene explotando en el cerro del Cordel, al W. y en las inmediaciones de Burguillos del Cerro.

Mineralógicamente, también estos campos son interesantes, existiendo en las zonas de contacto entre pizarras, calizas y los granitos minerales interesantes de metamorfismo, destacando especialmente los granates de las zonas cercanas a Burguillos.

El país es eminentemente agropecuario, siendo la agricultura muy variada, y las dehesas de pastos y arbolado muy ricas con excelente arboleda, pues ya en estas zonas se deja sentir con intensidad, salvo en la época estival, el influjo beneficioso del Atlántico, que es especialmente poderoso en la invernada, por lo que el país es ya relativamente lluvioso, estando caracterizado por veranos cálidos y secos, inviernos húmedos y atemperados y estaciones de tránsito bien marcadas, especialmente la del otoño.

Es fundamental en este país la ganadería, compensada con la agricultura, para piensos, siendo la de cerda la más desarrollada, seguida de la de ovejas y vacadas.

Los núcleos de población son los de Burguillos, que es el principal, con 5.813 habitantes, seguido de Salvatierra de los Barros, que cuenta con 4.114 habitantes. En este pueblo se asienta una industria artesana de alfarería de muy viejo abolengo, sirviendo de base a la misma la frecuencia de barro especiales, resultado de la alteración del pizarral metamorfizado cambriano de los alrededores de Salvatierra. Tal industria artesana es conocida en toda España, y aún fuera, pues es la que da origen a los botijos y botijas de barro fino de color rojo tan típica y apreciada.

Además están las pequeñas aldeas de La Lapa, al Este, en el mismo borde del mapa, que cuenta con 590 habitantes, y las de Valle de Matamoros, 2.541 habitantes; Valle de Santa Ana, 2.020 habitantes; Los Clementes, 847, y La Concepción, con 192 habitantes, núcleos de población que quedan hacia el W., junto a la carretera nacional de Badajoz a Huelva.

El país está recorrido por una red de carreteras, dos de ellas nacionales, la de Badajoz a Huelva, que queda hacia el W., y la de Badajoz a Zafra y Huelva, que cruza por el ángulo SE. al Mapa. Las restantes son carreteras comarcales y locales, sumando en total dentro del mapa unos 130 kilómetros de extensión.

El país es recorrido también por el ferrocarril de Zafra a la frontera portuguesa, en construcción en sus últimos trayectos; vía férrea que favorece mucho las comunicaciones y transportes, y en especial los de carácter minero.

Como cuestión fundamental hay que hacer destacar que en todo este país falta en absoluto la formación Estrato-cristalina, representativa del Arcaico. Los materiales así considerados hasta ahora, no son sino los

pizarrales cambriano-silurianos, fundamentalmente convertidos en ectinitas más o menos migmatizadas, como ya se ha hecho destacar.

Si comparamos esta Hoja geológica con la zona correspondiente al mapa geológico oficial a escala 1:400.000, se aprecia la gran diferencia existente, debido especialmente al estudio y diferenciación de los diferentes niveles litológicos del Paleozoico inferior Cambriano-siluriano que ahora se ha hecho, así como a la existencia Carbonífero namuriense, que destaca en el ángulo NE. de la Hoja.

Si a esto se une la distribución muy diferente del conjunto granítico y de los manchones de rocas básicas, no porfídicas, diorítico-gábricas, que en el antiguo mapa sólo estaban localizados con muy escasa exactitud y extensión, así como la de no existir la formación estrato-cristalina del Arcaico, se comprende que el nuevo mapa sea muy diferente del bosquejo anterior, que sólo aproximadamente refleja las características geológicas y geográficas de esta comarca.

Hoja núm. 769, Navarrés.

En el invierno y primavera de 1955 hemos estudiado la Hoja de Navarrés, situada en el Sur de la provincia de Valencia.

Comprende un país de topografía muy variada y características geográficas muy diferentes.

La parte oriental pertenece a la fértil huerta valenciana, está muy poblada y bien comunicada. La parte occidental, de suelo rocoso y clima frío, no permite ningún cultivo; está ocupada sólo por monte, casi deshabitada y prácticamente incomunicada.

La variedad estratigráfica de las formaciones que afloran en la hoja de Navarrés es muy grande; hemos podido describir las siguientes:

Triásico.—Keuper con margas irisadas, con Jacintos de Compostela, yesos y ofitas.

Suprakeuper y Lias.—Calizas dolomíticas y margas blancas que comprenden desde el Suprakeuper hasta el Bético, inclusive.

Eocretáceo.—*Aptense*, en grandes masas de bancos calizos, alternando con margas y calizas margosas. Frecuentes fósiles, y especialmente *Pseudotoucasia santanderensis* Douv.

Neocretáceo.—*Cenomanense-Turonense*, en bancos margosos seguidos de potentes masas calizas.

Senonense, en el que distinguimos *Comacense*, *Santonense*, *Campaniense* y *Maestrichtense*.

Mioceno.—*Aquitaniense*, en facies continental detrítica.

Burdigalense marino.—Arenoso en la base, y con calizas y molasas en los tramos superiores.

Burdigalense lacustre. En facies de «tap» o en calizas tableadas.

Vindobonense. Calizas marinas y molasas fosilíferas.

Sarmatiense, *Tortonense*. Margas y arcillas continentales.

Pontiense. Calizas lacustres.

Plioceno.—Tobas con restos vegetales.

Cuartario.—Depósitos aluviales y tobas en los ríos, huertas y tierras de labor.

La zona de Navarrés está situada en el borde Norte de la zona de transición entre la Tectónica Bética y Celtibérica; participa, pues, en mayor grado de las características de esta última.

De todos modos, sus principales rasgos tectónicos vienen impuestos por la existencia de un violento y continuado diapirismo triásico, que ha dado origen a la gran mancha de este piso conocida por «La Canal de Navarrés», que atraviesa la hoja de NO. a SE.

Con este diapirismo vienen relacionados los pliegues y accidentes tectónicos de la hoja.

Estudiamos en los capítulos correspondientes estos accidentes tectónicos locales, y su relación con la Tectónica Regional. Hacemos también un bosquejo de la evolución geológica de las formaciones que ocupan la hoja de Navarrés, y una síntesis de su orogenia.

Un capítulo de la Memoria descriptiva está dedicado al análisis de las publicaciones anteriores sobre la geología de la zona. Los autores que con más detenimiento han estudiado la Región han sido los profesores B. Darder Pericás y R. Brinkmann.

Hemos estudiado en líneas generales las condiciones hidrológicas de las series que ocupan la hoja de Navarrés, y en el capítulo dedicado a la Hidrología Subterránea se describen estas características.

Se enumeran también los principales manantiales y alumbramientos de agua, y se analiza la destinada a los abastecimientos más importantes.

En el último capítulo se estudian las canteras y explotaciones mineras, que en la zona de Navarrés carecen en absoluto de importancia.

Notas bibliográficas

GEONUCLEONICA

HANS E. SUESS y HAROLD C. UREY: *Abundances of the elements*. «Rev. of Mod. Phys.», XXVIII, 53-74, enero 1956.

Estudian los autores las reglas en que se fundan las abundancias relativas de los elementos y discuten éstas para diversos grupos de elementos apreciándose variaciones considerables con respecto a las publicadas por Goldschmidt, Brown, Urey y Aller, sometiendo a dura crítica los del primer autor, pero se ha de tener en cuenta que había dado un formidable avance respecto a los datos anteriores. Da una familia de dos curvas de los logaritmos de las abundancias de los números en función de las unidades másicas, una para pares y otra para impares.

Completan la publicación con una serie de comentarios referentes a la distribución de las abundancias nucleares.—L. DE A.

MAYNE, K. I.: *Terrestrial helium*. «Geoch. et Cosmoch. Acta», IX, 174-82, abril 1956.

Se orienta el problema del helio terrestre desde el punto de vista de la composición isotópica.

Nuevamente se evidencia que la proporción de desprendimiento de He⁴ en la atmósfera de la corteza terrestre es alrededor de 60 veces la estimada anteriormente. Para mantener en la atmósfera la relación actual del He³ es necesario una producción mayor de la calculada por la reacción cósmica (n, H^3). El polvo cósmico extraterrestre, que está continuamente aumentando, la tierra se considera como un origen del He³, y se hace una valoración de la cantidad diaria necesaria a base de los trabajos recientes en material meteorítico. Un orden de 5.000 T/día para toda la tierra es establecido. Considera el autor el origen de este polvo.—L. F.

WICKMAN, FRANS E.: *The cycle of carbon and the stable carbon isotopes*. «Geoch. et Cosmoch. Acta», IX, 136-156, marzo 1956.

Los siguientes valores ha establecido el autor:

Carbón de los carbonatos (A) 2420 ± 560 g. $C^{12}/C^{13} = 88,55 \pm 0,05$; carbono orgánico sedimentario (B) entre 0,1 y 0,5 % de C en esquistos, $C^{12}/C^{13} = 91,00 \pm 0,10$.

El concepto de C^{12}/C^{13} del «carbono cortical» es el del carbono que toma parte en el ciclo del carbono entre la superficie de la tierra y la parte interna de la misma, mientras que «carbono terrestre» es del total contenido en la tierra, y para la valoración del primero midió la relación en 37 diamantes, 19 carbones de Ivigtul, algunos carbonatos y algunos grafitos. La relación isotópica del carbono cortical la valora en $89,11 \pm \pm 0,05$ y con ella deduce $A/B = 3,45 \pm 0,55$ y $B = 700 \pm 200$ g. Los pesos son por cm^2 de la superficie de la tierra.—L. F.

QUIMICA MINERAL

VINCENT, E. A. y SMADES, A. A.: *The determination of palladium and gold in igneous rocks by radioactivation analysis*. «Geoch. et Cosmoch. Acta», IX, 154-160, marzo 1956.

Los autores han mejorado la técnica propuesta por Goldberg y Brown (1949 y 50) para la determinación de Pd y Au en sideritos y lo han aplicado a las rocas ígneas. Dicen es muy superior a las clásicas y que ha de prestar gran utilidad a los estudios geoquímicos del Pd y Au.

Los límites de sensibilidad son Pd 10^{-8} y Au 2×10^{-9} del orden de la técnica que hemos expuesto (1941) de fusión y espectrografía que llega partiendo de 100 g. a Pd 5×10^{-9} y Au 5×10^{-9} .—L. DE A.

SAN MIGUEL DE LA CÁMARA, M. y PEDRO HERRERA, F. DE: *Estudio químico-mineralógico de ofitas españolas*. «Estudios Geológicos», t. XXVI, páginas 127-138, 1955.

Los autores comentan los análisis de seis ofitas españolas de las provincias de Huesca, Alicante, dos de Santander, Navarra y Guipúzcoa, efectuadas por el segundo, las que son comparadas con 12 de otros países. Por estos análisis se aprecia que son seis rocas básicas con variaciones en las relaciones entre los grados de oxidación del hierro, y bastante contenido en titanio.

Se trata de tipo químico pacífico definido aproximadamente por los parámetros $si = 115$, $al = 19$, $fm = 47$, $c = 28$, $alk = 6$.

Los parámetros mineralógicos denotan algunas moléculas saturadas de sílice ($a \geq 0$) e incluso a veces cuarzo libre, y una norma constituida por plagioclasas (50 por 100 An) y piroxenos (60 por 100 Fo) cualitativamente de acuerdo con el modo.

Un mayor contenido de potasio hacia el oeste de la alineación cántabro-pirenaica es la única diferencia acusada en la variación constitutiva de las ofitas según su repartición geográfica, aunque con un número tan reducido de muestras no se pueden establecer conclusiones petroquímicas.—L. DE A.

INDICE

	PÁGS.
Cronometría Radiactiva, por ANTONIO DUE ROJO, S. I.	3
Sucesión estratigráfica y fósiles del Eoceno de la Zona de Palafrugell-Esclañá-Regencós (Bajo Ampurdán, provincia de Gerona), por J. MARCET-RIBA	25
Notas sobre la enseñanza de la Cristalografía, por JORGE DOETSCH.	57
El empleo de las fotografías aéreas en ciencias geológicas, por ORIOL RIBA	85
En torno a las teorías de los granitos, por LUIS C. GARCÍA DE FIGUEROLA	127
El período sísmico de Granada (abril-mayo 1956), por ANTONIO DUE ROJO, S. I.	159
Nota acerca de los terremotos granadinos del 19 de abril de 1956, por MANUEL PASTOR	171
Noticias	193
Notas informativas	209
Notas bibliográficas:	
Geonucleónica	221
Química mineral	222