

I/16-1-1

NOTAS Y COMUNICACIONES

DEL

**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO**

DE

**ESPAÑA**

---

**NUMERO 19**

---



MADRID

C. BERMEJO, IMPRESOR  
J. GARCIA MORATO, 118.—TELEF. 33-06-19

1949

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.

**NORMAS PARA LA EJECUCION  
Y PRESENTACION DE LAS HOJAS DEL  
MAPA GEOLOGICO NACIONAL DE  
ESPAÑA A ESCALA 1 : 50.000**

## SUMARIO

### I.—JUSTIFICACION DE SU NECESIDAD Y CRITERIO ADOPTADO

### II.—NORMAS

- A) Referentes al texto.
- B) Referentes al mapa y cortes geológicos.
- C) Instrucciones y recomendaciones.

### III.—ANEXOS

- A) Cuadro sistemático de las principales formaciones geológicas y de sus designaciones.
- B) Clave de los colores representativos de las formaciones geológicas.
- C) Clave de los rayados simbólicos de las divisiones estratigráficas menores, y de los símbolos litológicos.
- D) Clave de símbolos convencionales de uso más corriente en el mapa.
- E) Instrucciones para la aplicación de las designaciones, rayados y símbolos.

NORMAS PARA LA EJECUCION Y PRESENTACION DE LAS HOJAS DEL MAPA GEOLOGICO NACIONAL DE ESPAÑA A ESCALA 1:50.000

I

JUSTIFICACIÓN DE SU NECESIDAD  
Y CRITERIO ADOPTADO

Cuando en el año 1927 el Instituto Geológico y Minero de España decidió la publicación de un mapa geológico nacional a escala 1:50.000, se ejecutó una hoja de ensayo, la de Cantillana, que junto con las primeras publicadas después han venido sirviendo de norma o modelo para las que se han publicado hasta el momento actual.

No se consideró necesario entonces fijar de una manera expresa la finalidad y alcance del mapa ni tampoco dar normas para expresar sus características e imprimir cierta unidad, tanto a su contenido como a su formato. Ciertamente se redactaron unas reglas, pero éstas se refieren más bien a la manera de ejecutar las observaciones en el terreno, y, comunes a toda la técnica geológica de trabajar en el campo, no son específicas a la confección de un tipo de mapa determinado. Por otra parte, su existencia era desconocida de la mayor parte de los geólogos empeñados actualmente en la confección del mapa.

La individualidad de los autores, por un lado, y por otro la diversidad y variedad de los problemas, han ido introduciendo gradualmente desviaciones de los tipos originales, que si en cierta medida son inevitables, y aun deseables, amenazaban, por su exceso, con rebasar los límites conve-

nientes, introduciendo desorden y anarquía en una obra que nunca debe perder su carácter unitario.

La Dirección del Instituto ha estimado conveniente aprovechar la experiencia lograda con las 114 hojas publicadas hasta el momento para examinar de nuevo el problema planteado por el Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000, y la Ponencia designada con este objeto ha expuesto las siguientes consideraciones:

La mayor parte de los problemas relacionados con la redacción y presentación de las hojas del Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000 tiene su raíz en la misma índole y finalidad del mapa, y, por consiguiente, el punto de partida debe ser el estudio del objeto y de las características de dicho mapa.

Partimos del principio de que este mapa tiene por finalidad la representación y descripción de las características geológicas del territorio nacional, con un detalle apropiado a la escala del mapa topográfico oficial en que se apoya, y teniendo en cuenta que el objeto de su consulta puede ser tanto de orden científico como utilitario. Este mapa se compone de 1.130 hojas que dividen la representación del área nacional en otros tantos rectángulos de análogas dimensiones, con artificio independiente de todo criterio geológico.

El mapa geológico nacional a escala 1:50.000 constará, pues, de 1.130 hojas en que se representen gráficamente las características geológicas del suelo español, y de otras tantas Memorias en que se describan, con adecuado detalle, dichas características geológicas.

La primera cuestión, y la más importante que nos plantea esta peculiar estructura del mapa, es si se han de considerar dichas hojas partes integrantes de un conjunto superior, el mapa total de España, o bien han de tratarse como monografías independientes.

La misma escala de las hojas muestra que no es su objeto primordial integrar un mapa de conjunto, ya que, entre otras razones, existe la fundamental de que el área total que exigiría el unir las todas hace imposible su representación en un conjunto.

La estructura de las hojas, con su mapa geológico y una explicación independiente, de los fenómenos representados en su área, indican que más bien han de ser consideradas, por decirlo así, autónomas, es decir, están concebidas de modo que cada hoja constituye una entidad independiente, que se basta a sí misma sin necesitar auxilio o consulta de las contiguas.

Por otra parte, el criterio puramente artificioso, de división del mapa en áreas iguales, independientes de toda consideración geológica, obliga a moderar este criterio extremo, haciendo a cada hoja solidaria de las contiguas o más bien de todas aquellas que forman parte de la misma entidad geológico-natural.

Por tanto, mientras es manifiesto que cada hoja por sí sola es una entidad completa e independiente, resulta imprescindible, para lograr su máxima utilidad y eficacia, velar porque exista cierta uniformidad, en contenido y presentación, para todas aquellas que forman parte de una misma unidad geológica, y, como consecuencia, y en menor grado, para las de toda España, puesto que las unidades geológicas tampoco son compartimientos estancos. Al estudiar las normas nos ha guiado el propósito de conseguir el grado óptimo de uniformidad, respetando al mismo tiempo la individualidad de las hojas y el criterio de los autores.

Es evidente que los mejores resultados se obtendrían dividiendo el mapa de España en regiones geológicas na-

turales y haciendo preceder al estudio de las hojas los de esas regiones, ejecutados también a escala 1 : 50.000, pero más rápidamente y con menor detalle. Se lograría con ello el conocimiento previo de los hechos y características estratigráficas y tectónicas, localización de los problemas y caudal de conocimientos generales que permitirá establecer, mediante la estratigrafía comparada, los puntos de partida imprescindibles para escribir el capítulo, tan interesante, de la historia geológica de la región en que enclava la hoja; hechos todos que no pueden, en general, deducirse del solo estudio de su reducida área.

Con este conocimiento previo las hojas ganarían extraordinariamente en soltura de ejecución, en calidad y, sobre todo, en coordinación. Incluso algunos de los capítulos más difíciles, por rebasar su alcance los límites convencionales de la hoja, pudieran suprimirse haciendo referencia a la Memoria regional.

Pero las dificultades de organización y presupuestarias se estiman, por ahora, obstáculo inabordable que impide afrontar esa solución, la que, no obstante, no deberá perderse nunca de vista.

Una aproximación a este método podría conseguirse, dentro del sistema actual, procurando encomendar siempre a los mismos geólogos las hojas que integran unidades geológicas o tectónicas.

Otra característica del mapa nacional a escala 1 : 50.000 es su carácter popular. Precisamente, por tratarse de obra nacional, está puesta al servicio de todos, de modo que sin prescindir de los más elevados conceptos geológicos, debe hacerse, en su vocabulario y expresión, asequible a todos, especialmente en aquellos capítulos que se espera que sean objeto del interés o de la curiosidad popular.

Establecidas estas características y objetivos más salientes de las hojas del mapa geológico nacional, veamos qué exigencias arrastran consigo.

Dado el carácter monográfico de cada Memoria, cabe conceder al autor determinada libertad de ejecución e interpretación, pero siempre que no exceda de un límite tal que el conjunto resulte anárquico. Consideramos, pues, que no sólo no es perjudicial, sino deseable y, además, inevitable, que cada hoja refleje la personalidad del autor o autores, y por eso debe llevar impresa, en el mapa y en el texto, en forma destacada, su firma o firmas.

Pero a la vez conviene exigir un mínimo de uniformidad, y siendo la región la encargada de velar por ella, precisa que en cada hoja figuren igualmente destacados los nombres del Jefe de la región y su personal componente.

Este mínimo de uniformidad debe encontrarse, en cuanto al fondo, en el acoplamiento de las descripciones locales dentro del marco de las geologías regionales, y en cuanto a la forma, por una parte, en la estructura de las Memorias, en lo que se refiere a las materias de que trata y capítulos que la componen; por otro lado, en un mínimo indispensable de uniformidad en la representación gráfica.

Cierto es que cada hoja tiene sus exigencias particulares, y, por ello, debe concederse cierta libertad en este sentido, pero es indispensable que exista un fondo común de símbolos que facilite el recordarlos, y que el empleo desordenado de nuevos símbolos e interpretaciones para los mismos terrenos o fenómenos no exija un estudio detallado y confuso para cada hoja. Esa uniformidad de símbolos permitirá también acoplar hojas contiguas sin que discrepen fundamentalmente en las líneas de unión, e incluso la reunión de las reducciones del mapa que figuran en la Memoria como esque-

mas explicativos de los cortes permitirá la formación de un mapa de España completo a escala 1 : 150.000.

Cuestión delicada es el grado de perfección exigible a cada hoja, ya que, por infinidad de razones de todos órdenes, que no es de este lugar mencionar, un trabajo geológico nunca es perfecto ni definitivo.

No hay seguramente trabajo geológico en nuestro país, ni en ningún otro, al que no se puedan oponer reparos. Lo interesante es que cada trabajo nuevo recoja, complete, mejore y extienda los conocimientos anteriores, criticándolos, además, para sentar los hechos confirmados y refutar o discutir los restantes, avanzando tan lejos como se pueda en la resolución de los problemas, y fijando claramente las premisas y situación de los que aún quedan planteados, y a los que no se encuentra todavía solución aceptable.

La buena calidad de los trabajos geológicos depende con mucho de las cualidades y vocación de sus autores, pero resulta no tanto de la bondad absoluta de los trabajos, sino, en mucha mayor medida, de que sean fruto y resultado de la decantación y digestión de muchos trabajos. En una palabra, todo trabajo geológico es, por su propia índole, susceptible de mejoramiento.

Podemos resumir las consecuencias que arrastran consigo estas ideas en las siguientes normas:

Cada hoja del mapa debe ser un trabajo original, pero debe recoger, acendrar, criticar y aprovechar la experiencia anterior.

No debe aparecer nunca con menos detalle que los trabajos anteriores, realizados a la misma o inferior escala, a menos que se justifique la inconsistencia de aquéllos, sino que, por el contrario, debe superarlos al máximo límite compa-

tible con las circunstancias y con las posibilidades económicas; tope supremo, siempre, de la calidad de la hoja.

Se espera, por consiguiente, que cada hoja aporte nuevos conocimientos, marcados, además, con el sello de la personalidad del autor.

Garantizarán la calidad de cada hoja y de la Memoria correspondiente, el sentido de responsabilidad de su autor o autores y, en último término, la Comisión de Publicaciones, ya que, una vez aceptadas por ésta para su publicación, hoja y Memoria, no habrá lugar a responsabilidad de los autores.

En vista de estas consideraciones generales estimamos oportuno establecer como preceptivas una serie de normas que propone la Ponencia para obtener la mínima uniformidad exigible en el contenido y presentación de las hojas. Además, y con objeto de respetar su individualidad, y al mismo tiempo moderar sus excesos, se expresan una serie de recomendaciones.

JOSÉ G. SIÑERIZ  
*Director del Instituto Geológico  
y Minero de España*

## II

### NORMAS

#### A) REFERENTES AL TEXTO. SU ESTRUCTURA

En la portada, y bajo el nombre del pueblo titular de la hoja, debe figurar el de la provincia o provincias a que corresponde.

Cada Memoria descriptiva se iniciará con una página en la que figure un gráfico de la situación de la hoja dentro de la región, en el que consten las hojas ya publicadas y las que están en preparación.

Al dorso de esta página aparecerá, en un recuadro, la relación del personal que integra la región, y en otro, la del que ha intervenido directamente en el estudio y composición de la hoja.

En la segunda hoja se iniciará el *Índice de Materias*. En la tercera comenzará la descripción propiamente dicha, y constará de los siguientes capítulos dispuestos con arreglo al orden en que se enumeran.

#### *Antecedentes y rasgos geológicos.*

Comenzará con una reseña del desarrollo de los conocimientos geológicos regionales, desde los más antiguos, procurando resaltar las contribuciones más notables, y hacién-



dolo con mayor o menor extensión a juicio del autor o autores, según lo requiera la índole de la hoja.

Se fijará el estado de los conocimientos y el planteamiento de los problemas geológicos en el momento de emprender el estudio de la hoja.

Terminará este capítulo con una descripción sumaria de las características estratigráficas y tectónicas más generales y notorias de la hoja, prestando especial atención a su encaje dentro de la geología regional.

Es muy conveniente aclarar esta explicación uniéndole un esquema o croquis orientador de la disposición de la hoja con respecto a las grandes unidades estratigráficas o tectónicas.

#### *Rasgos de geografía física y humana.*

Se hará en él somera descripción de las relaciones entre el territorio que representa la hoja y las unidades geográficas y sistemas orográficos e hidrográficos; descripción que ayude a situar dicho territorio en el ámbito de la geografía nacional.

Se prescindirá de la de aquellos rasgos topográficos de detalle, que se deducen inmediatamente del examen o estudio de la hoja.

A continuación, y con extensión dosificada por el buen criterio del autor o autores, se describirá la geografía física y humana, abarcando, por lo menos, los siguientes puntos: Climatología, tipos de paisaje, vegetación espontánea, población humana, cultivos, vías de comunicación locales y su relación con la red nacional, desarrollo industrial y minero, hidrología y embalses; todo ello en sus líneas generales y teniendo como objeto ambientar al lector dándole una

impresión del carácter industrial o agrícola, seco y desértico, o húmedo y boscoso, aislado o incomunicado, etc., de la región porque se interesa.

Si la región tiene significado histórico importante es recomendable hacer breve alusión a ello. Tampoco ha de olvidarse la Prehistoria, si los datos conocidos de ella tuvieran cierto valor.

Se procurará incluir los datos prácticos referentes a la facilidad de utilizar alojamientos cómodos y conocidos, tales como paradores y albergues de carretera, balnearios, santuarios, albergues y refugios de montaña, así como señalar los centros recomendables como bases para organizar reconocimientos y excursiones.

#### *Estratigrafía.*

Tiene por objeto la descripción de los rasgos litológicos y estratigráficos, en cuya división y análisis se irá tan lejos como sea posible y como lo permitan las características, y los presupuestos acordados para la hoja.

En este capítulo se incluirán las listas de fósiles y toda clase de datos paleontológicos que no merezcan mención especial.

Se procurará ilustrar la serie estratigráfica con cortes detallados, de carácter esquemático si se desea, es decir, con absoluta libertad de escalas, y en ellos se procurará situar, además, los fósiles hallados en sus niveles correspondientes.

Se recomienda establecer en este capítulo la estratigrafía comparada, que permita el estudio de la evolución, procedencia y carácter de los materiales sedimentarios; con lo que se contribuirá a sentar las premisas para el estudio de la historia geológica regional.

*Paleontología.*

Será potestativo, y en él se incluirán las descripciones de fósiles o faunas que por su novedad o interés especial merezcan ser objeto de estudio más detallado. Para las listas de fósiles dentro de cada formación se deberá emplear el orden taxonómico.

En general, todo estudio paleontológico que no merezca representación gráfica, se incluirá en el capítulo denominado Estratigrafía.

*Petrografía.*

Será potestativo y en él se incluirán las descripciones, análisis y microfotografías de las rocas y minerales que, por su interés especial, merezcan ser objeto de estudio más detallado (en general todo estudio petrográfico que no necesite representación gráfica se incluirá en el capítulo de Estratigrafía).

Se procurará llegar a conclusiones respecto de las relaciones que entre sí presenten los diversos tipos de rocas ígneas y los minerales, según su génesis, y también respecto de su edad y proceso evolutivo.

*Tectónica.*

En él se hará la descripción de toda clase de elementos tectónicos, atendiendo a su ubicación y morfología. Se procurará aclarar las explicaciones escritas por medio de esquemas y bloques diagramáticos.

*Sondeos e investigaciones geofísicas.*

Siempre que en el área representada por la hoja se hayan verificado sondeos o investigaciones geofísicas, se dará cuenta de ellas localizando en el mapa los sondeos y dando, en lo posible, los resultados de la exploración profunda por sondeos o por medios geofísicos.

*Historia geológica de la región.*

Aunque potestativo, se espera que lo incluyan todas las Memorias. En él, y utilizando el caudal de datos acumulados en los capítulos anteriores, y el análisis de los antecedentes y estudios regionales, cuando aquéllos no fueran suficientes, se hará el estudio del desarrollo geológico de la región en que enclava la hoja. Se describirá la sucesión de los diferentes fenómenos estratigráficos, paleontológicos, tectónicos, volcanológicos, climatológicos, fisiográficos y morfológicos a lo largo de los tiempos geológicos, procurando subrayar bien la subordinación, en orden a la importancia, de los distintos fenómenos y las de efecto a causa.

En este capítulo tendrán cabida los datos referentes a sismología, cuando se considere que tienen interés aclaratorio de la tectónica.

Las explicaciones que se considere oportuno dar del desarrollo morfológico tendrán su lugar adecuado en este capítulo, dado que la morfología es una faceta de la historia geológica de la región.

Caso de que por las circunstancias no se estime conveniente la inclusión de este capítulo, por falta de materia o por otra causa cualquiera, los datos y observaciones relativos a él habrán de ser incluidos en los capítulos dedicados

a Estratigrafía y Tectónica. Por otro lado, si se quisiera dar mayor extensión a capítulo tan interesante cabría dividirlo en subtítulos encabezados con los nombres de las materias de que trate.

#### *Crítica de los antecedentes geológicos.*

Será igualmente potestativo como capítulo independiente, pero dicha crítica deberá hacerse siempre en algún otro capítulo.

En él se analizarán, a la vista de los datos y hechos expuestos en los capítulos anteriores, las principales fuentes de conocimientos para afirmar aquellos que se estimen ciertos, refutar los que se consideren falsos y fijar las correspondientes discrepancias con los trabajos anteriores.

Un resumen final mostrará el avance conseguido en la hoja y Memoria, y señalará los problemas que aun quedan planteados y sus premisas.

Caso de que se estime más conveniente, la crítica podrá ser simultánea con las descripciones estratigráficas y tectónicas.

#### *Hidrología subterránea.*

Este capítulo estará orientado principalmente a enumerar los niveles acuíferos más importantes, y relacionarlos con la estratigrafía y la tectónica.

Se aportará la mayor copia posible de datos referentes a manantiales y su localización, caudales, análisis y calidades de las aguas. Se hará mención especial de las aguas minero-medicinales y minero-industriales.

Los análisis de aguas se presentarán en forma uniforme, y sus resultados se expresarán en aniones y cationes.

También procurarán ampliarse en este capítulo los datos climatológicos, expuestos en forma somera en un capítulo anterior, suministrando, a ser posible, cuadros de precipitaciones y temperaturas.

#### *Minería y canteras.*

En él se expresarán todos los datos generales en relación con estas materias.

En aquellas regiones donde la minería tenga una importancia especial, bastará señalar los caracteres más generales y notorios, y se darán a conocer en cualquiera de las restantes publicaciones del Instituto todos aquellos detalles y circunstancias que rebasen el alcance de una hoja geológica, pero en este capítulo habrá que señalar la reseña bibliográfica de esa monografía.

En cambio no se omitirá dato o hecho geológico alguno que tenga relación o influencia con la génesis de los criaderos o los métodos y dificultades de su explotación.

Caso de tratarse de zonas de minería pobre o inexistente, el capítulo podrá reducirse a mencionar el hecho.

#### *Bibliografía.*

Se preferirá en ella el orden alfabético al cronológico, especialmente cuando la lista reseñada sea larga. Dicha Bibliografía irá numerada correlativamente, y todas las referencias a ella en el texto llevarán la cifra correspondiente y la página del trabajo a que se refiere la cita.

*Índice alfabético de materias, localidades y autores.*

Cerrará la Memoria, y su composición ha de hacerse una vez que se tengan corregidas y paginadas definitivamente las últimas pruebas de imprenta del trabajo.

B) REFERENTES AL MAPA Y CORTES GEOLÓGICOS

1) Es preceptivo el uso de la escala de colores, rayados, y designaciones de terrenos y símbolos, que junto con las instrucciones para su empleo acompaña a estas normas, pues se estiman dotados de la suficiente variedad, libertad y flexibilidad, para llenar todas las exigencias previsibles.

2) Todas las hojas llevarán indicada al margen la distribución de la cuadrícula en cinco partes horizontales designadas por letras mayúsculas (A, B, C, D y E de izquierda a derecha) y cuatro partes verticales designadas por números árabes (1, 2, 3 y 4, de arriba a abajo).

3) Las láminas de hoja y cortes llevarán impresos los nombres del autor o autores.

4) Se recomienda encarecidamente, en honor de la exactitud, que los cortes geológicos de la lámina que acompaña al mapa vayan trazados a igualdad de escala horizontal y vertical (1 : 50.000). Hay en cambio libertad absoluta de escala, o de falta de ella, para los restantes cortes o esquemas que ilustren el texto.

5) Habrá libertad absoluta para elegir los símbolos litológicos que se empleen en la representación de los diferentes niveles estratigráficos, en los cortes, pero los colores (no los rayados) deberán ser los mismos empleados en el mapa para las formaciones correspondientes.

6) Los originales del mapa y cortes serán entregados a la oficina de delineación, con dibujo claro y terminante, con todos sus datos pasados en tinta en forma precisa, de manera que no haya luego dudas en su reproducción, y la labor de los delineantes sea meramente de copia y no de interpretación. Es decir, serán entregados totalmente terminados y con su trazado definitivo.

Conviene ahora completar estas normas aclarándolas con una serie de

C) INSTRUCCIONES Y RECOMENDACIONES

1) Se publicará periódicamente el programa de las hojas que se propone realizar el Instituto Geológico, con la expresión de los nombres de sus autores, para que a ellos puedan ofrecer sus datos o ideas todos los geólogos conocedores de la región, y especialmente los autores de las hojas contiguas. Una vez terminada la ejecución de la hoja, los autores procurarán conseguir de aquéllos un cambio de impresiones, con objeto de discutir las conclusiones y lograr un máximo de objetividad y uniformidad.

2) Deben orientar los autores la confección de las hojas de forma tal, que aun ciñéndose con criterio personal a la descripción de los problemas geológicos locales de la hoja, como unidades o monografías autónomas, se encañen con las geologías regionales en que enclavan. Esto debe hacerse no solamente procurando el enlace más perfecto con las hojas contiguas, sino también buscando en los capítulos apropiados para ello, y, sobre todo, en los de Estratigrafía, Tectónica e Historia Geológica, el enlace de los problemas geológicos locales con los regionales.

3) Se recomienda el uso de la escala 1 : 25.000 en las labores de campo siempre que sea posible.

4) En las labores de campo se recogerán las muestras petrográficas, paleontológicas y minerales, justificantes para una posible comprobación, y las que se consideren interesantes por su perfección, su rareza o su tipismo, se entregarán a la Sección de Museos, una vez clasificadas, y con su localidad referida exactamente, mediante número o cifra, al punto de su hallazgo en el mapa topográfico.

5) Son preceptivos los capítulos y apartados denominados *Antecedentes y rasgos geológicos*, *Rasgos de geografía física y humana*, *Estratigrafía*, *Tectónica*, *Sondeos e investigaciones geofísicas* (cuando hubiere lugar), *Hidrología subterránea*, *Minería y canteras*, *Bibliografía e Índice alfabético*, y potestativos los denominados *Paleontología*, *Petrografía*, *Historia geológica de la región* y *Crítica de los antecedentes geológicos*, aunque caso de suprimirse estos capítulos las materias a que se refieren deberán ser tratadas en otros capítulos pertinentes.

6) Ninguna hoja del mapa a escala 1 : 50.000 debe omitir detalles que aparezcan en publicaciones anteriores, y que puedan tener representación adecuada a dicha escala, a menos que en el capítulo de crítica se razone la conveniencia de su exclusión.

7) No se deberán utilizar, copiados literalmente, fragmentos de publicaciones anteriores para completar el texto de la Memoria como no sea con objeto de someterlos a crítica.

8) Todas las citas de localidades en el texto irán seguidas (entre paréntesis) por la referencia a la cuadrícula del mapa.

9) Todas las citas bibliográficas del texto irán seguidas (entre paréntesis) del número que corresponde en la Biblio-

grafía, al libro o revista de que se toma la cita, con mención de la página.

10) Los nombres de las formaciones y pisos geológicos irán escritos en el texto con minúsculas, y los de los fósiles en letra bastardilla, seguidos de la abreviación del nombre del autor.

11) Se aconseja moderación en el uso de neologismos, y en general de todos los términos y vocabulario que exijan conocimientos de especialista.

12) Se pondrá especial atención en que todos los nombres geográficos y citas de localidades que se mencionen en el texto, figuren también en la hoja o mapa.

Teniendo en cuenta que la composición gráfica de la hoja se rehace totalmente en la oficina de delineación del Instituto, se advierte que existe la posibilidad de ampliar o corregir, añadiendo o rectificando nombres en la toponimia, muy deficiente, a veces, de las hojas geográficas.

13) Se procurará, con un criterio de ponderación, equilibrar el contenido de los diversos capítulos de la Memoria, de modo que su extensión quede proporcionada a su importancia.

Caso de que algún autor o autores, llevados por su predilección por determinada materia, presente un capítulo de exagerada extensión, procurará reducirlo a sus proporciones normales y reservará para cualquiera de las restantes publicaciones del Instituto el resultado completo de la investigación, incluyendo en la Memoria la cita bibliográfica correspondiente.

La Comisión de Publicaciones será la encargada de velar en última instancia por la ponderación y el equilibrio en la composición de la Memoria.

14) Se recomiendan como muy útiles las representacio-

nes panorámicas-estereográficas del terreno que reproducen las hojas, pero sólo cuando además sirvan para expresar y describir la estructura geológica.

Se dará acogida a toda clase de esquemas y croquis que contribuyan a ilustrar la Memoria y habrá para ello absoluta libertad de estilos y escalas.

15) Se llama la atención sobre la extraordinaria importancia que tiene la cuidadosa corrección de pruebas, tanto de mapas y cortes como del texto, y la conveniencia de que sean precisamente los autores los que la realicen. Muchas Memorias y hojas impecables por su ejecución, desmerecen por la abundancia de erratas que las afean considerablemente.

16) Ayuda mucho a la ejecución correcta de cortes y mapas, que los originales sean entregados a la oficina de delineación definitivamente trazados y sin color, acompañados de un superponible transparente en el que figuren símbolos numéricos para las distintas formaciones o tramos y una clave de equivalencias a los símbolos definitivos.

17) La oficina de delineación vendrá obligada, una vez ejecutada su labor, a pasarla al autor o autores, para que éstos den su conformidad o hagan las observaciones pertinentes.

18) Los autores de una hoja del mapa, al hacer entrega de ella a la Junta de Publicaciones, entregarán simultáneamente un extracto, o nota reducida, en el que se resuman las características generales de aquélla, y en que se señalen, de manera acusada, todas las novedades que dicha hoja aporta al conocimiento geológico de la región. Está destinada a su publicación en las «Notas y comunicaciones» de este Instituto Geológico y Minero.

19) La Junta de Publicaciones es la encargada de velar

por el cumplimiento de estas normas, y solamente aceptará para su publicación las hojas y Memorias que estén de acuerdo con ellas.

20) Estas normas se aplicarán para todas las hojas del mapa cuyos trabajos se inicien una vez que hayan sido publicadas aquéllas.

### III

#### ANEXOS

- A) Cuadro sistemático de las principales formaciones geológicas y sus designaciones.
- B) Clave de los colores representativos de las formaciones geológicas.
- C) Clave de los rayados simbólicos de las divisiones estratigráficas menores, y de los símbolos litológicos.
- D) Clave de símbolos convencionales de uso más corriente en el mapa.
- E) Instrucciones para la aplicación de las designaciones, rayados y símbolos.

## A) CUADRO SISTEMÁTICO DE LAS PRINCIPALES FORMACIONES GEOLOGICAS Y SUS DESIGNACIONES

Cuartario.....	{	Al Aluvial.	
		Di Diluvial.	
Plioceno..... P	{	P <sub>3</sub> Calabrense.	
		P <sub>2</sub> Astiense.	
		P <sub>1</sub> Plasenciense.	
Mioceno..... M	{	M <sub>5</sub> Pontiense. i	} M <sub>2-3</sub> Vindobonense.
		M <sub>4</sub> Sarmatiense.	
		M <sub>3</sub> Tortonense.	
		M <sub>2</sub> Helveciense.	
		M <sub>1</sub> Burdigalense.	
Oligoceno.... O	{	O <sub>3</sub> Aquitaniense.	
		O <sub>2</sub> Estampense.	
		O <sub>1</sub> Sannoisense.	
Eoceno..... N	{	N <sub>6</sub> Ludense.	
		N <sub>5</sub> Bartonense.	
		N <sub>4</sub> Auversense.	
		N <sub>3</sub> Luteciense.	
		N <sub>2</sub> Ypresense.	
		N <sub>1</sub> Suessonense.	
Neocretáceo... C	{	C <sub>7</sub> Danés - C <sub>6</sub> Garumense.	} C <sub>3-6</sub> Senonense.
		C <sub>6</sub> Maestrichtense...	
		C <sub>5</sub> Campaniense....	
		C <sub>4</sub> Santoniense.....	
		C <sub>3</sub> Coniaciense.....	
		C <sub>2</sub> Turonense.	
		C <sub>1</sub> Cenomanense.	
Eocretáceo.... G	{	G <sub>4</sub> Albense.	
		G <sub>3</sub> Aptense.	
		G <sub>2</sub> Barremense.	
		G <sub>1</sub> Neocomiense - G <sub>w</sub> Wealdense.	
Jurásico..... J	{	J <sub>5</sub> " Portlandense-Titónico J <sub>p</sub> " Purbeckense.	} J <sub>1</sub> " Callovense.
		J <sub>4</sub> " Kimmeridgense.	
		J <sub>3</sub> " Lusitaniense.	
		J <sub>2</sub> " Oxfordense.	
		J <sub>1</sub> " Callovense.	
	{	J <sub>2</sub> ' Bathonense.	} J <sub>1</sub> ' Bajocense.
		J <sub>1</sub> ' Oolita...	

Liásico..... L	{	L <sub>6</sub> Aalenense.	
		L <sub>5</sub> Toarciense.	
		L <sub>4</sub> Charmutense.	
		L <sub>3</sub> Sinemuriense.	
		L <sub>2</sub> Hetangense.	
		L <sub>1</sub> Retiense.	
Triásico..... T	{	T <sub>k</sub> Keuper..... T <sub>3</sub> Noriense.	
		T <sub>m</sub> Muschelkalk. T <sub>2</sub> Ladiniense.	
		T <sub>b</sub> Buntsandstein..... T <sub>1</sub> Werfenense	
Permotrias..... Pt			
Permiano..... P	{	P <sub>3</sub> Zechstein.	
		P <sub>2</sub> Sajoniense-Rotliegendes.	
		P <sub>1</sub> Autunense.	
Carbonífero..... H	{	H <sub>4</sub> Estefanense — Uralense.	
		H <sub>3</sub> Westfaliense.	
		H <sub>2</sub> Caliza de Montaña.	
		H <sub>1</sub> Dinantense — Culm.	
Devoniano..... D	{	D <sub>6</sub> Famense.	
		D <sub>5</sub> Frasnense.	
		D <sub>4</sub> Givetense.	
		D <sub>3</sub> Eifelense.	
		D <sub>2</sub> Coblencense.	
		D <sub>1</sub> Gedinense.	
Siluriano..... S	{	Gothlandense. S"	} S <sub>1</sub> ' Llandoveryense.
		S <sub>3</sub> " Ludlowense.	
		S <sub>2</sub> " Wenlockense.	
	{	Ordoviciense... S'	} S <sub>1</sub> ' Tremadocense.
		S <sub>5</sub> ' Ashgillense.	
		S <sub>4</sub> ' Caradocense.	
		S <sub>3</sub> ' Llandeilleense.	
		S <sub>2</sub> ' Arenigense.	
Cambriano..... Ca	{	Ca <sub>3</sub> Potsdamense.	
		Ca <sub>2</sub> Acadiense.	
		Ca <sub>1</sub> Georgiense.	
Paleozoico indiferenciado..... Pa			
Arcaico..... A	{	A <sub>2</sub> Proterozoico.	
		A <sub>1</sub> Arqueozoico.	



Estrato cristalino ..... E  $\left\{ \begin{array}{l} E_3 \text{ Pizarras verdes.} \\ E_2 \text{ Micacitas.} \\ E_1 \text{ Gneis.} \end{array} \right.$

## R O C A S I G N E A S

Rocas plutónicas.....  $\left\{ \begin{array}{l} \Upsilon \text{ Granitos.} \\ \Sigma \text{ Sienitas.} \\ \Delta \text{ Dioritas.} \\ \Upsilon\alpha \text{ Gabros.} \\ \pi \text{ Peridotitas.} \\ A\beta \text{ Alcalinas básicas.} \end{array} \right.$

Rocas coplutónicas.....  $\left\{ \begin{array}{l} \pi o \text{ Pórfidos plutónicos.} \\ \Sigma s \text{ Segregaciones plutónicas di-} \\ \text{versas.} \\ A \text{ Aplitas.} \\ \pi e \text{ Pegmatitas.} \\ Q \text{ Diques de cuarzo.} \\ L \text{ Lamprofiros.} \\ F \text{ Filones metalíferos.} \end{array} \right.$

Rocas volcánicas.....  $\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ Liparitas.} \\ \tau \text{ Traquitas} \\ \varphi \text{ Fonolitas.} \\ \alpha \text{ Andesitas.} \\ \delta \text{ Diabasas y ofitas.} \\ \beta \text{ Basaltos.} \end{array} \right.$

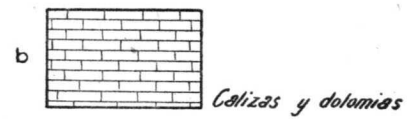
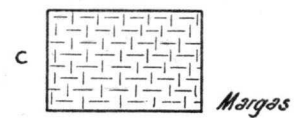
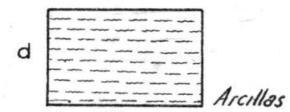
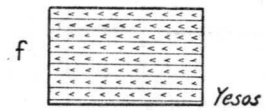
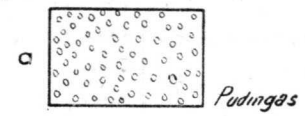
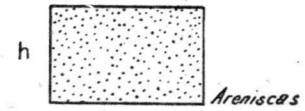
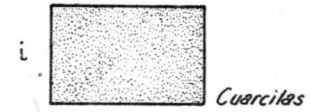
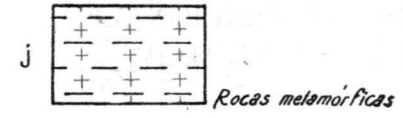


B.—CLAVE DE LOS COLORES REPRESENTATIVOS  
DE LAS FORMACIONES GEOLOGICAS

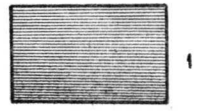
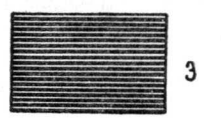
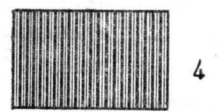
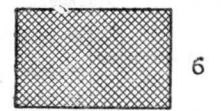
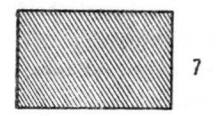
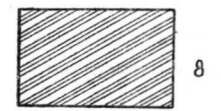
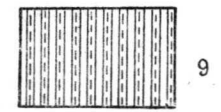
Aluvial		Permiano	
Diluvial		Carbonifero	
Plioceno		Devoniano	
Mioceno		Siluriano	
Oligoceno		Cambriano	
Eoceno		Estrato Cristalino	
Neocretáceo			
Eocretáceo		Plutónicas	
Jurásico		Coplutónicas	
Liásico			
Triásico		Volcánicas	

C CLAVE DE LOS RAYADOS SIMBOLICOS DE LAS DIVISIONES  
ESTRATIGRAFICAS MENORES Y DE LOS SIMBOLOS LITOLÓGICOS

*Simbolos litológicos*



*Simbolos de formaciones*



**D.—CLAVE DE SIMBOLOS CONVENCIONALES DE USO MAS CORRIENTE EN EL MAPA**

**DELIMITACIÓN DE FORMACIONES**

CONTACTO NORMAL		CONTACTO TECTONICAMENTE ANORMAL	
id anormal por discordancia.	-----	Por falla.	-----
id supuesto o indeterminado	-----	id id supuesto u oculto	-----
		Por cabalgamiento visto.	-----
		id id supuesto.	-----
SIMBOLOS ESTRATIGRAFICOS Y TECTONICOS			
Capas horizontales	+	Cabalgamiento visto.	-----
id verticales ó casi verticales.	+	id oculto	-----
id con inclinación medida.	30°	id supuesto	-----
id id id apreciada	Entre 0 y 7°	Falla	-----
	id 7 y 20°	id de cizallamiento	-----
	id 20 y 50°	Cráter volcánico	-----
	id 50 y 90°	id id con colada lavica	-----
Estructura cupuliforme	+	Glaciar	-----
Rumbo incierto	+	Cantera en explotación	-----
Buzamiento incierto	+	id abandonada	-----
Rumbo y buzamiento inciertos	+	Mina en explotación	-----
Capas replegadas en el sentido del rumbo	+	id abandonada	-----
id id id id del buzamiento.	+	Pozo de mina	-----
id id en ambas direcciones.	+	Bocamina	-----
Buzamiento periclinal divergente.	+	Cono de deyección	-----
id id convergente.	+	Depósitos eólicos	-----
Anticlinal	-----	Terraza	-----
Sinclinal	-----	Sondeo	-----
Afloramientos muy continuos	-----	Diaclasas	-----
Yacimiento fosilífero	Rico	●	
	Pobre	●	

**E) INSTRUCCIONES PARA LA APLICACIÓN DE LAS DESIGNACIONES, RAYADOS Y SÍMBOLOS**

**a) Designaciones abreviadas de los terrenos.**

Con objeto de aclarar todas las dudas que puedan surgir en la interpretación de las rayados, es preceptivo que cada mancha de suficiente extensión, lleve una designación abreviada del nombre de la formación.

En el cuadro que acompaña (Anexo A) se ha recogido un número suficiente de divisiones calculado para que cubra las necesidades previsibles; en él se indican las designaciones abreviadas correspondientes a cada tramo o formación.

Al corregir las pruebas del mapa el ingeniero deberá comprobar que en efecto la oficina de delineación ha cumplido con este requisito.

Si por razones de índole estratigráfica hubiera que reunir bajo un solo símbolo varios de los tramos, se expresará por la inicial correspondiente acompañada por los subíndices de las divisiones extremas separadas por un guión. Así por ejemplo, si en el eoceno hay que reunir bajo una sola designación desde el luteciense hasta el ludense, ambos inclusive, la notación será N<sub>3-6</sub>.

Si hubiera lugar a establecer alguna subdivisión de los tramos que expresa el cuadro, la notación de cada una de ellas deberá ser la que corresponda al tramo acompañada de

los exponentes numéricos que sean necesarios. Por ejemplo, si el campaniense hubiera de ser dividido en tres niveles, sus notaciones serían de inferior a superior:  $C_s^1$ ,  $C_s^2$ ,  $C_s^3$ .

En cuanto a las rocas ígneas, deberán llevar también su símbolo, de acuerdo con el cuadro.

b) *Empleo de los símbolos de color y litológicos.*

a) Símbolos de color.

Se parte del criterio tradicional en este Instituto de respetar los mismos tonos de color para las mismas formaciones, de acuerdo con la escala establecida, cuyo modelo se incluye. (Anexo B.)

Las subdivisiones dentro de cada terreno representado por un tipo de color se harán utilizando los distintos rayados previstos en la escala (Anexo C), ateniéndose a las siguientes normas:

Cuando no sea posible diferenciar tramos dentro del terreno se utilizará el rayado número 1. Así, por ejemplo, para el cambriano indiferenciado se usará el color correspondiente con el rayado núm. 1.

Para los distintos tramos en que subdivide el terreno se utilizarán del 2 al 10, procurando emplearlos en orden ascendente para tramos ascendentes, es decir, los más altos de la escala para los más altos del terreno, en el mismo orden de la escala.

Dentro de esta norma hay libertad para elegir uno u otro rayado, pero cuando no se haga uso de todos se procurará usarlos espaciados para que en caso de que en una hoja continua o cercana hubiera posibilidad de dividir más, se disponga aún de los intermedios.

También se procurará en la máxima medida posible usar

de los mismos rayados que se hayan empleado en hojas contiguas, realizadas con arreglo a estas normas.

b) Símbolos litológicos.

Cuando el autor desee resaltar las características litológicas de algunos niveles, puede hacer uso de los símbolos litológicos expresados en el cuadro (Anexo C) desde la a, hasta la j, que se superpondrán en línea negra y muy fina, sobre el símbolo de color correspondiente al tramo.

Así, por ejemplo, unas calizas campanienses vendrán representadas por la superposición del símbolo b, sobre uno de los rayados altos de la serie de color, por ejemplo, el 7.

c) *Símbolos convencionales para datos geológicos y paleontológicos y mineros de interés.*

Se incluye una lista de símbolos característicos para expresar los accidentes tectónicos o stratigráficos, buzamientos y direcciones de capas, yacimientos de fósiles, minas, canteras, etc. (Anexo D.)



**RÉMESA DE PELECIDODOS LIMNICOS  
DEL CARBONIFERO DE CIÑERA (LEON)**

**POR**

**P. HERNANDEZ SAMPELAYO**

P. HERNANDEZ SAMPELAYO

REMESA DE *PELECIPODOS LIMNICOS*  
DEL CARBONIFERO DE CIÑERA (LEON)

Los fósiles de la fauna carbonífera están distribuidos en siete trozos de pizarra negra, con poca mica, es decir, que no llega al aspecto psamítico, más bien recuerda a filadios arcillosos finos de aspecto siluriano, salvo el color. Han sido sometidos a nuestro estudio por el profesor señor Gómez de Larena.

Entre los fósiles representados podemos citar: Braquiopodos, Familia Lingúlidos.—**Lingula Squamiformis** Phillips: Este braquiopodo, de unos dos centímetros de largo por uno de ancho, tiene paralelos los bordes laterales y casi recto el frontal. Conforme a la descripción clásica del ejemplar, las líneas de crecimiento están irregularmente levantadas, con apariencia escamosa, origen de su nombre específico; este aspecto típico es posible que tenga como fundamento, al menos parcial, el hundimiento, por presión, de la concha abultada. En Bélgica está citado de la capa de Andenne y en la de Chatelet, así como en los niveles marinos de Charloro y de Petit-Buisson. En Asturias, desde la caliza al paquete Entrerregueras (Namuriense a Westfaliense B.).

En uno de los ejemplares hay también una *Lingula* más pequeña, de poco más de un centímetro de largo, con el contorno algo oval en conjunto: las estrías de crecimiento con-

céntricas, aunque no muy irregulares. Nivel análogo a la *L. squamiformis*. Quizá pueda referirse al grupo de *L. mytiloides*.

### SANGUINOLITES ANGULATUS Hind.

Sólo un ejemplar hemos visto entre las conchas atribuible al gén. *Sanguinolites*: es transversalmente oval, redondeado hacia adelante y algo truncada hacia atrás, con quilla desde el corchete al ángulo posterior ventral, ofreciendo así una depresión entre la quilla y la charnela. El borde posterior no es muy recto y truncado, por lo que sólo nos decidimos a marcarlo como *conferens*. Aun cuando aminorado por esa expresión de perplejidad, no pierde el valor stratigráfico, pues la mayoría de las especies de *Sanguinolites* se han encontrado en las capas belgas de Andenne, correspondientes al Namuriense, quizá con dominio en el tramo alto, hacia Las Generalas.

Entre varias conchas del género **Edmundia**, tan características por su forma oval-oblonga y gruesas estriás sobre los ejemplares más bien inflados, el determinable como especie es la **Edmodia sulcata** Phillips. Bordes dorsal y ventral, recto y paralelos y extremidades redondeadas, costillas fuertes y bien separadas por surcos. La mayoría de los ejemplares muy implantados se deducen por comparación. La *E. sulcata* se refiere al Namuriense medio y superior. Generalas, Asturias.

Hay algún representante de las **Posidoniellas** de tipo pequeño y afines a la *P. rugata*, semejantes a las que encontramos en Villablino.

Por fin, debemos acusar la presencia del género **Lithodomus**, concha subcilíndrica y alargada, de corchete



*Sanguinolites angulatus* (Hind).



*Posidoniella rugata* (Jackson).





*Leaita leaita*, var *salteriana* (Jones)



*Beyrichia arcuata* (Bean)

poco diferenciado, redondeada en su región anterior, con charnela corta. La superficie está rizada, más bien abultamientos por zonas de crecimiento: una especie es comparable con la *Lithodomus lingualis* Phillips; pero encontramos otra perfectamente excepcional, por la longitud de sus larguísimas valvas y agudeza de los corchetes; hasta ahora, no teniendo más que un individuo, no nos decidimos a detalles de medidas, unas diez veces el largo por el ancho, etc. Si se hallaran más ejemplares merecería la pena el estudiar una especie, que pudiera denominarse **Lithodomus longuissima** sp. Los niveles de los pelecípodos se refieren al Namuriense completo.

### PHYLLOPODOS

Entromostráceos encerrados en concha, segregada por su caparazón; segmentos variables. En el género **Leaia** de Jones, el caparacho de las valvas ofrece dos crestas diagonales, extendiéndose desde la extremidad anterior del borde dorsal hasta el borde inferior.

**Leaia leaia** var. **salteriana** Jones. Hay algún ejemplar de 2 x 3 cms. con líneas de crecimiento de 0,01 mm. Las dos varices son muy finas y en forma de crestas diagonales, se extienden desde la extremidad anterior del borde dorsal hasta el inferior. Jones Lam. Fg. Este Phyllopodo se encuentra en el Infracarbonífero de Pensilvania, y en Inglaterra llega al Uper Coalmeasures (sphenophyllum). Las *Leaias* se refieren en el carbonífero belga al Westfaliense A. (capas de Chatelet). En Asturias se podrían atribuir desde Las Generalas al fin de María Luisa (Namuriense a Westfaliense A. completo).

### OSTRACODOS

Estos *entomostráceos* los vemos por primera vez en Asturias unidos a las faunas de malacología expresada. Hay ejemplares en los que se percibe el ligamento dorsal elástico entre las dos valvas, identificando, sin duda alguna, la familia de los **Beryichidos**.

El caparazón es pequeño, equivalvo, de charnela larga: valvas ligeramente lobadas. La **Beyrichia arcuata** Bean. es la única especie encontrada hasta hace unos años en Bélgica. Las valvas son convexas, con el contorno suboval: borde rectilíneo en el dorso y curvo en el ventral. Se percibe también un surco profundo hacia la mitad anterior de la valva y delante una pequeña entalladura. En Bélgica se suponen en el Westfaliense A. capas de Oupeye, Beine y Genek (1938). Tramo de María Luisa.

A estas descripciones específicas se les añaden las fototipias, que no figuraron en la Nota de la R. Acad. de Ciencias.

## UN METAL TRANSCENDENTAL: EL URANIO

POR

JOSE MESEGUER PARDO

Ingeniero de Minas

JOSE MESEGUER PARDO

Ingeniero de Minas

## UN METAL TRANSCENDENTAL: EL URANIO

Considerada la naturaleza de las aplicaciones, el metal de mayor interés en los tiempos actuales es, sin duda, el uranio.

Hallado el trióxido en la pezblenda por Klaproth, el año 1789, se obtuvo, por calcinación de aquél al rojo blanco, un bióxido negro o gris de acero, brillante, que fué confundido durante bastante tiempo con el metal, hasta que, al cabo, logró aislarlo Peligot, en 1841, en estado pulverulento, y, quince años más tarde, en forma de masa metálica. El nuevo cuerpo recibió su nombre en homenaje a Herschel, que había descubierto el planeta Urano en 1781.

Es el uranio un metal cristalino, de brillo argénteo y 18,7 de densidad, capaz de forjarse y pulimentarse; cuando se frota con una lima, emite fuertes chispas y, ya a la temperatura ordinaria, descompone el agua. Las sales ofrecen una gran toxicidad, semejante a la del cromo y el arsénico.

En los primeros tiempos fué un metal poco destacado que se preparaba, en pequeña escala, para la obtención de materias colorantes con destino a la vidriería y la cerámica. Más importantes que él eran las aleaciones con el hierro, que, cuando contienen más de 20 por 100 de uranio, se hacen *pirofóricas*.

El procedimiento más eficaz para obtener el uranio metálico, es el de Driggs y Lillienthal, fundado en la electrolisis, en horno de resistencia de carbón, de una mezcla fundida de cal y cloruro sódico a partes iguales, a la que se añade, poco a poco, fluoruranato potásico. El metal en polvo que se deposita en el cátodo, después de lavado y seco, se funde para refinarlo en horno de inducción de alta frecuencia y se logra, finalmente, un botón de 99,88 por 100 de pureza.

El descubrimiento por Becquerel, en 1896, de la radiactividad, que se creyó propiedad intrínseca del uranio, dió a éste cierta notoriedad acentuada dos años después con motivo del hallazgo del radio por el matrimonio Curie, acontecimiento trascendental en el orden científico. Las propiedades del nuevo y sorprendente elemento, y en particular sus aplicaciones al tratamiento de las neoplasias malignas, le hicieron alcanzar pronto un precio extraordinario y, como consecuencia, recibió gran incremento la industria del uranio, que era la única fuente del cuerpo codiciado.

Hasta el año 1907 fué Joachimsthal (Checoslovaquia) el único distrito productor del mundo. Después, especialmente de 1919 a 1923, los Estados norteamericanos de Colorado y Utah fueron los grandes abastecedores, pero quedaron suplantados luego por el Congo Belga, que llegó a conquistar el dominio del mercado; se montó en Bélgica la refinería de Oölen, hasta no hace mucho la más importante del mundo, y en ella se trataban 100 toneladas diarias de mineral con 40 a 50 por 100 de  $U^3O^8$ . El Gobierno tuvo prácticamente el monopolio de la venta del uranio, del que se producía un tonelaje de mineral, equivalente a 20 gramos de radio aproximadamente.

En 1930 se descubrieron los criaderos del Canadá, que vi

nieron a establecer competencia con los referidos países, pero nueve años más tarde, Boris Pregel, presidente de la Uranium and Radium Corporation, fusionó los intereses y fundó el Cartel del Uranio, que manejaba todo lo referente a precios y reparto de la producción.

Hasta 1926 se había obtenido en el mundo un total de 2.028 toneladas de uranio metálico, con la siguiente distribución aproximada:

Estados Unidos.....	50	por %
Congo Belga.....	30	»
Checoslovaquia.....	10	»
Otros países.....	10	»

Desde 1926 a 1938, la producción ascendió a 2.267 toneladas de uranio, y de 1938 a 1941 se conjetura que se obtuvieron 650 toneladas. En el último de los citados años, debido a las nuevas aplicaciones a la industria militar, los Estados Unidos intervinieron todas las explotaciones de uranio, y en Montivello (Utah) se construyó una importante refinería, dedicada a fines de guerra, cuya capacidad era de 100 toneladas diarias de mineral, con 40 a 50 por 100 de  $U^3O^8$ . Roosevelt creó la Comisión del Uranio, y se puso en práctica el plan Manhattan para la fabricación de bombas atómicas, levantándose las ciudades industriales de Clinton, Hanford y Los Alamos, con centenares de fábricas y miles de viviendas. Se invirtieron para ello 2.000.000.000 de dólares.

En el mismo año adquirió el Gobierno del Canadá las acciones de todas las Sociedades mineras que explotaban el uranio, e igualmente la refinería de Port Hope, montada por aquéllas, cuya capacidad de tratamiento era de 50 toneladas diarias de mineral semejante al anterior.

Rusia ha instalado, asimismo, en Bolshaya, cerca de Po-

tenkino, una refinería, cuyas características se desconocen, y también en Kirovsk, a 150 kilómetros del puerto de Murmansk, ha establecido un centro industrial muy importante para el tratamiento de los minerales uraníferos.

Por último, Suecia, además de intervenir la producción de uranio, ha construido una refinería en Narke.

Hasta los tiempos actuales se destinaban los minerales de uranio principalmente a la obtención del radio, que, aparte de las importantes aplicaciones terapéuticas, sirve para producir la fosforescencia permanente, y, por lo tanto, la visibilidad nocturna de algunos instrumentos como brújulas, relojes y miras de armas de fuego; la sustancia empleada es el sulfuro de cinc, al que se agrega un fosforógeno como el cobre, en la proporción de 1/5.000. El producto se hace luminoso durante algunas horas si se le expone previamente a la luz solar, pero la fosforescencia se convierte en permanente cuando se impregna con una solución de radio en la proporción de 5 a 205 miligramos por kilogramo de sulfuro.

En los artículos baratos, que duran poco tiempo, suele emplearse el mesotorio, más económico que el radio, pero este último se impone en los instrumentos de buena calidad, para asegurar la duración. El consumo, por este concepto, llega hasta casi un gramo de radio.

Para otros usos industriales del uranio, se fabrican en gran escala el diuranato sódico, el uranato amónico y el carbonato de sodio y uranilo, que son las primeras materias para todos los demás preparados.

El kilogramo de óxido negro de uranio, valía, en 1880, 80 pesetas, mas el descubrimiento del radio le hizo aumentar de precio, hasta cotizarse, en 1913, de 1.000 a 1.500 pesetas.

En 1927 descendió a 20 pesetas, y luego se ha elevado paulatinamente, hasta valer 56 pesetas en 1941.

En los últimos tiempos, el uranio metálico se ha cotizado a 20 dólares por kilogramo.

En cuanto al precio del radio, que en 1927 era de 750.000 pesetas el gramo, descendió en 1941 hasta venderse entre 275.000 y 330.000 pesetas.

Después de las investigaciones de Lise, Meitner y Hahn, continuación de las de Cockroft y Walton, bajo la dirección de Rutherford, se ha convertido, el metal que nos ocupa, en una de las principales materias para la desintegración atómica, «fuerza básica del Universo», como la denomina el actual presidente de los Estados Unidos, Harry S. Truman, que, independientemente de las aplicaciones bélicas, promete una absoluta revolución de los métodos industriales. El extraordinario depósito de energía almacenada en el átomo, impulsa a sustituir las reacciones entre moléculas (combustión de toneladas de carbón) por las nucleares, que únicamente exigen la escisión de unos cuantos gramos de materia.

Hasta no hace mucho, se desconocía la constitución de la materia, confinada casi en el dominio filosófico, por haber escapado a la experimentación precisa; mas los progresos de la Física, la han hecho salir del campo de las especulaciones intuitivas y consienten un gran avance de los conocimientos, merced al cual puede irse precisando la naturaleza misteriosa del edificio atómico.

Como señala la experiencia, se suponen dos partes distintas, dotadas de propiedades diferentes: una *externa*, verdadera nube de corpúsculos eléctricos negativos, o *electrones*, y en el centro del pequeño mundo, un *núcleo* de carga positi-

va, que retiene bajo su dominio a los primeros, aunque a respetable distancia.

Los electrones, descubiertos por Thomson en 1897, tienen en reposo una masa  $5,486 \times 10^{-4}$  y peso  $9,1065 \times 10^{-28}$  gramos. Poseen la menor carga eléctrica que se puede aislar, es decir, el *cuanto* de electricidad *negativa*, igual a  $4,8025 \times 10^{-10}$  unidades electrostáticas, y animados de velocidades próximas a la de la luz (\*) giran en derredor del núcleo, atraídos por él a causa de su carga de signo contrario, pero alejados por la fuerza centrífuga desarrollada como consecuencia del movimiento de rotación. El momento de giro ha recibido el nombre de *spin*.

La composición de ambas fuerzas, atracción y fuerza centrífuga, es la que determina la forma de las órbitas electrónicas, no siempre circulares ni del mismo diámetro, que se distribuyen en diferentes *niveles* o pisos, en cada uno de los cuales se mueven uno o varios electrones.

En el núcleo, los físicos señalan dos constituyentes fundamentales: *protones* y *neutrones*. Los primeros, observados por Goldstein, en 1886, en los rayos-canales, son corpúsculos *positivos* de masa 1,007581 y peso  $1,67248 \times 10^{-24}$ , semejantes a los átomos de hidrógeno ionizados. Los neutrones, encontrados por Chadwick, en 1932, como consecuencia de las investigaciones de Bothe, Bécker y el matrimonio Joliot-Curie, poseen una masa del mismo orden que los protones: 1,00895 y peso  $1,67427 \times 10^{-24}$  gramos, pero se hallan desprovistos de carga eléctrica. La referida masa es 1.850 veces mayor que la de los electrones.

(\*) Dadas las enormes velocidades de los electrones, la masa de estos en reposo, es distinta de la masa en movimiento, de conformidad con lo que establece la teoría de Einstein.

Se ha planteado el problema de saber si los constituyentes del núcleo son entidades simples o, por el contrario, elementos complejos; diferentes consideraciones hacen imaginar que los protones están formados por un neutrón y un electrón positivo o *positrón*, elemento descubierto por Anderson, en 1932, en los rayos cósmicos.

El diámetro de la esfera ocupada por el enjambre de electrones, o sea la magnitud del átomo, es del orden de  $10^{-8}$  centímetros o, lo que es lo mismo,  $10^4$  veces superior al diámetro del núcleo; y el volumen del átomo,  $10^{12}$  veces mayor que el del núcleo. La relación entre estas magnitudes, es la que existe entre una esfera de 200 metros de diámetro y una cereza.

En la escala de las dimensiones, el hombre se encuentra a una distancia media entre el universo estelar y el microcosmos atómico, es decir, que el volumen de lo que llamamos átomo es, respecto a las partículas que lo forman, el mismo del sistema solar para los astros. Hay, pues, que persuadirse de que el vacío ocupa la mayor parte del espacio de la materia, exactamente lo mismo que en el mundo sideral. La rigidez y la cohesión de los cuerpos, se deben a las acciones atractivas, a gran distancia, entre los corpúsculos atómicos.

Dos son las características fundamentales del núcleo: carga y masa. La primera es la suma de las de los protones, de manera que si se toma por unidad la carga de uno de ellos, el número de protones representará la carga total del núcleo. En cuanto a la masa, como primera aproximación puede estimarse en la suma de las masas de los protones y neutrones, pero ello no es completamente exacto, pues está comprobado que posee un valor algo inferior. Precisamente

la pérdida de masa que se origina cuando se unen las partículas para formar el átomo, es la que mide la energía.

Los electrones forman como una coraza alrededor del núcleo, y éste, a diferencia de aquéllos, interviene muy poco en las relaciones con el ambiente. Pero encierra, en cierta manera, la herencia del átomo y su porvenir, hasta el punto de que, de las modificaciones que sufra, depende al desintegración y la obtención de otros tipos atómicos.

Con protones y neutrones están contruídos todos los átomos que se conocen, de donde resulta la profunda unidad de la materia. El número de protones es el llamado *número atómico*, el cual representa también el de orden de cada cuerpo en el sistema periódico; el índice de masa es el denominado *peso atómico*, y el número de neutrones viene dado por la diferencia entre los dos anteriores. Un mismo elemento puede poseer distintos núcleos, caracterizados por igual número de protones y diferente de neutrones, y así resultan los *isótopos*, todos con idénticas propiedades químicas, puesto que dependen éstas exclusivamente de la nube externa electrónica, que no ha variado.

Hoy día son conocidos unos 700 átomos diferentes, de los que, poco más de 300, se encuentran en la Naturaleza, y los demás se han creado artificialmente. Los elementos químicos diferenciados al presente son 96. Los átomos pueden enlazarse con otros semejantes o bien con átomos diferentes, para formar las moléculas, que son el constituyente fundamental de las sustancias químicas. Se conocen en la actualidad más de 700.000 moléculas diferentes.

En los cuerpos más ligeros (hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, aluminio, etc.), hasta el calcio, la relación entre el número de neutrones y el de protones, es igual a la unidad. En cambio, en los elementos de gran masa atómica, el número

de neutrones supera al de protones, y la estabilidad del átomo disminuye, pues la predisposición de los núcleos a la desintegración, depende de la interacción neutrones-protones, ligada a la relación antedicha.

Cuando en la constitución de los núcleos entran más de tres neutrones por cada dos protones, la inestabilidad del edificio se manifiesta por fenómenos radiactivos, es decir, por la emisión de radiaciones de distinta naturaleza, que se han designado con las tres primeras letras del alfabeto griego.

Los rayos  $\alpha$  son partículas análogas a los núcleos de helio, formadas por la asociación de dos protones y dos neutrones; poseen dos cargas positivas, su masa vale cuatro y están animados de una velocidad de 15.000 kilómetros por segundo, aunque la inicial con que son emitidos por las diversas sustancias radiactivas, varía en cierto grado. Por tratarse de partículas pesadas, el poder de penetración es tan exiguo que quedan detenidas por unas cuantas hojas de papel, por láminas metálicas de 0,1 mm. de espesor o por una capa de aire de 9 cms.

Los rayos  $\beta$  no son otra cosa que corpúsculos negativos o electrones, animados de una velocidad prácticamente igual a la de la luz, lo que establece la diferencia con los rayos catódicos, que son más lentos. Estos rayos  $\beta$  son capaces de atravesar 3 mm. de plomo. Los más veloces tienen un poder de penetración siete veces mayor que los lentos.

Los rayos  $\gamma$  constituyen vibraciones electromagnéticas de frecuencia superior a la de los rayos X. La longitud de onda está comprendida entre 0,01 y 1,4 angstroms (\*), y de ahí su elevado poder de penetración, que les hace atravesar bloques

(\*) El angstrom vale  $10^{-8}$  centímetros, o lo que es lo mismo, 1 centímetro tiene 100.000.000 angstroms.



de plomo de 10 cms. de espesor o una capa de aire de 35 metros.

Se ve, pues, que las emisiones  $\alpha$  y  $\beta$  no son, en realidad, sino corpúsculos materiales a los que se aplica la denominación de rayos para designar las trayectorias que describen. Por el contrario, las radiaciones  $\gamma$  son verdaderamente ondulatorias, es decir, algo muy semejante a la luz—en el supuesto de que ésta se halle constituida por las ondas de Huyghens—, aunque de frecuencia incomparablemente mayor.

Los fenómenos radiactivos tienen su asiento en el centro de los átomos y no en la periferia o atmósfera electrónica, de suerte que la expulsión de partículas  $\alpha$  y  $\beta$ , acompañadas de rayos  $\gamma$ , parte de los núcleos y exclusivamente de aquellos que, por su particular inestabilidad, tienen tendencia a *cambiar* de un modo constante.

En los expresados cambios, los átomos reorganizan su estructura, adoptando nuevas formas de características físico-químicas diferentes, y la transmutación prosigue hasta llegar a un equilibrio estable que detiene la radiactividad.

Como la reorganización atómica no puede menos de afectar a los electrones periféricos, el número de éstos aumenta o disminuye con arreglo al tipo de transformación y se originan, en consecuencia, cuerpos nuevos.

Si se prescindiese de los productos de transformación de algunos isótopos débilmente radiactivos, la desintegración *espontánea* es privativa de un cierto número de elementos distribuidos en tres familias principales que se inician en otros tantos cuerpos cabezas de serie: U-238 o uranio-radio; U-235 o urano-actinio, y Th-232 o torio. Las tres familias presentan un desarrollo similar: dan origen a distintos elementos intermedios, y terminan en isótopos estables del plomo. La

más importante es la primera o del uranio-radio, la cual, no lejos de su comienzo, se divide en dos ramas que ofrecen, entre dos puntos determinados, igual que con una parte de la serie del torio, un sorprendente paralelismo.

Aparte de otras familias radiactivas, como las del lutecio, potasio, rubidio y cesio, investigaciones muy recientes inducen a considerar una cuarta principal, que se denomina del neptunio, y cuyo término final, a diferencia de las anteriores, es un isótopo estable del bismuto.

La *vida media* de los elementos que se desintegran, o sea el tiempo necesario para que la masa de cada uno quede reducida a la mitad, varía extraordinariamente: algunos son de duración tan breve que es prácticamente imposible aislarlos, y de ahí que no se les encuentre normalmente en estado natural; otros, por el contrario, son de transformación lenta y revisten gran interés práctico, porque su larga vida hace factibles las investigaciones.

Entre las cantidades presentes de los diversos cuerpos, se establecen relaciones determinadas. Uno de ellos, A, se transforma en otro, B, que produce a su vez un nuevo elemento, C, y así sucesivamente. Supongamos que al principio sólo existe el cuerpo A, de vida mucho más larga que la de los otros. La cantidad de B, nula al principio, comienza a aumentar, pero como a su vez es activo este nuevo elemento, empezará a desaparecer proporcionalmente a la cantidad presente y llegará un instante en que la cantidad de B destruida por unidad de tiempo es igual a la formada por A. Así se establecerá una relación constante entre las cantidades de A y B, y en tal caso se dice que existe *equilibrio radiactivo* entre ambos cuerpos.

De la misma manera, al destruirse B, la cantidad del nuevo elemento C que aquél produce, es también nula al prin-

cipio y va aumentando para empezar después a ser destruída, hasta que por fin se logra un equilibrio entre B y C y, por consiguiente, entre A y C.

Como el número de átomos C que se forman por unidad de tiempo es igual al de átomos B destruídos y al de estos mismos B formados, resulta asimismo igual al número de átomos A destruídos, y, por lo tanto, en la unidad de tiempo se transforma el mismo número de átomos de los cuerpos radiactivos en equilibrio. Se deduce, en consecuencia, que los diversos elementos que forman una serie, tienen la misma ley de decrecimiento que el cuerpo originario de larga vida, de modo que cuando se alcanza el equilibrio radiactivo, las cantidades de los elementos presentes se hallan en una relación constante.

En los minerales antiguos, ha podido establecerse el equilibrio radiactivo merced al gran lapso de tiempo transcurrido desde su formación, así que se destruirían en cada segundo cantidades iguales de los distintos elementos. Un gramo de uranio en equilibrio, emite  $9,7 \times 10^4$  partículas  $\alpha$  por segundo, lo que corresponde a  $1,88 \times 10^{11}$  gramos de helio, o bien  $10,7 \times 10^8$  centímetros cúbicos durante cada año. Como el uranio aislado sólo emite la octava parte de la expresada cantidad, el resto se debe, naturalmente, a la radiación de los elementos activos formados por las sucesivas disgregaciones del átomo de uranio.

Si la transformación del uranio contenido en un mineral, se ha efectuado a velocidad constante, será posible determinar la edad de aquél, valuando las cantidades de helio y plomo-radio que, como consecuencia de la desintegración, han debido producirse. Pero dichas cantidades no son constantes, puesto que la velocidad de transformación del uranio, en un

determinado instante, es proporcional a la masa inalterada, y esta última disminuye, según es lógico, a causa de la actividad del elemento. Así, las cantidades de los productos de desintegración formados, irán disminuyendo con el tiempo. Estas variaciones se han tenido en cuenta en la determinación de la edad de muchos minerales.

En la desintegración espontánea, tal y como hoy es conocida, se produce continuamente un desprendimiento de calor que llega a 135 calorías por hora y gramo de radio. El 85 por 100 de esta energía se debe a las partículas  $\alpha$ , el 7,5 por 100 a las  $\beta$  primarias y el resto a las secundarias y a los rayos  $\gamma$ .

Las apuntadas transmutaciones naturales de la materia, hacen comprender la posibilidad de obtener cambios de los cuerpos *artificialmente*, modificando los núcleos de los átomos. Esta quimera de la Alquimia medieval, puede hoy realizarse variando la estructura de los núcleos por impactos de partículas de gran velocidad que, al actuar sobre aquéllos, los destruyen como los proyectiles lanzados sobre un muro de fortificación.

Pero es preciso sortear no desdeñables dificultades. La primera es de orden geométrico, vista la pequeñez de los átomos y, sobre todo, de los núcleos. En segundo lugar, es indispensable que los proyectiles alcancen exactamente el núcleo, pues si actúan de soslayo, no hay posibilidad de que se alojen en el interior; y tanto la experiencia como el cálculo, demuestran que no puede impedirse la desviación de las partículas, incluso cuando la dirección inicial pasa por el centro del núcleo, si la energía cinética de aquéllas no posee

un valor considerable, que se cifra en millones de electrón-voltios (\*).

Todavía otra dificultad, mayor que las apuntadas, estriba en la gran resistencia que los núcleos oponen a cualquier intrusión de corpúsculos exteriores, a causa de la carga eléctrica positiva, que tiende a repeler las partículas del mismo signo que se les aproximen.

Tales son las razones del fracaso de las tentativas de transmutación material, antes de poderse contar con la energía de los cuerpos radiactivos o de producirse tensiones eléctricas de la magnitud debida. Y agreguemos, de paso, el extraordinario coste de obtención de elementos de síntesis en cantidades apreciables. Un solo miligramo de oro, por ejemplo, fabricado a partir de elementos próximos, como el plomo o el mercurio, exige un gasto tal de energía eléctrica, que es completamente irrealizable desde el punto de vista económico.

Hace años se empleaban como proyectiles para las transformaciones, exclusivamente las partículas  $\alpha$  que emiten de modo espontáneo los cuerpos radiactivos: pero su acción viene a ser poco eficaz a causa de la barrera de potencial positivo que defiende el núcleo de los átomos (barrera de Gamow), y de ahí que se acuda hoy a los protones, neutrones, rayos  $\gamma$  e incluso rayos cósmicos, con tal de que posean una energía suficientemente elevada.

De hecho parecen los neutrones los proyectiles más eficaces, atendida la magnitud de su masa—análoga a la de los

(\*) El electrón-voltio es la energía cinética que adquiere un electrón en un campo electrostático de 1 voltio. De ordinario se utiliza el múltiplo: mega electrón-voltio que equivale a  $1,6 \times 10^{-6}$  ergios ó  $4,45 \times 10^{-20}$  kilovoltios-hora.

protones—, y que, por carecer de carga eléctrica, no quedan detenidos por el potencial defensivo del núcleo.

Con arreglo a la velocidad que poseen, los neutrones son de dos naturalezas: *rápidos*, en los que aquella se acerca a la de la luz y la energía excede de 100.000 electrón-voltios, y *lentos*, en que la velocidad apenas supera a la de los movimientos *brownianos*.

Los neutrones rápidos pueden atravesar un número muy grande de átomos sin producir una sola colisión, y ello explica el extraordinario poder de penetración, muy superior al de los rayos  $\gamma$ , que les permiten atravesar bloques de plomo de 0,30 ms. de espesor. Por el contrario, los neutrones lentos penetran fácilmente en los núcleos y se relacionan con sus semejantes del interior de aquellos: el hecho de haber perdido energía, les hace particularmente absorbibles.

Pueden producirse neutrones en estado rápido, acudiendo a la acción de las partículas  $\alpha$  que emite la emanación del radio o *radón*, sobre el berilio en polvo: este último queda transformado en carbono y se liberan 1.000 neutrones por segundo solamente con algunos centenares de milicuries de emanación. También el bombardeo del berilio con deuterones, en un tubo de descarga de 1.000.000 de voltios, le convierte en boro con abandono de neutrones rápidos provistos de una energía de 3 a 10 mega electrón-voltios. Esta última reacción, permite vislumbrar la fabricación casi industrial de neutrones, con mucho mayor rendimiento que el obtenido con el radón.

Los neutrones rápidos se hacen lentos, por pérdida de energía, cuando chocan con determinados núcleos. Este *frenado*, se logra interponiendo en el trayecto de los neutrones pantallas especiales con *retardadores*, como el *agua pe-*

sada, helio, boro y cadmio, el último de gran aplicación en las centrales de energía nuclear.

Al lanzar sobre los núcleos los expresados neutrones lentos, solamente llega al interior una fracción que cede parcialmente su energía y origina uno de estos tres procesos:

- a) Aceleración de la desintegración natural de los cuerpos radiactivos.
- b) Producción de átomos más pesados.
- c) Escisión del átomo primitivo en otros más ligeros.

Generalmente, la captura de los neutrones lentos se acompaña de la desintegración del núcleo, el cual expulsa un protón o una partícula  $\alpha$ , y queda un núcleo nuevo de propiedades radiactivas que emite un electrón o rayo  $\beta$ . El elemento resultante de la escisión nuclear, puede ser de tipo definitivamente estable, o bien ser inestable, y sufrirá su propia desintegración. En determinadas condiciones, el bombardeo con neutrones lentos del U-238 o uranio-radio, hace que el núcleo capture uno o varios de los mismos y se formen cuerpos nuevos, algunos de los cuales se han llamado transuránicos por hallarse situados más allá del uranio en la serie periódica de Mendeleev.

De la expresada manera, se ha obtenido el isótopo U-239, beta-radiante y de 23.5 minutos de vida media, el cual origina el  $U_{93}^{239}$ , que ha recibido el nombre de *neptunio*, y tiene de vida 2.33 días. Por nueva desintegración  $\beta$ , se transforma a su vez el último en  $U_{94}^{239}$  o *plutonio*, que, con el anterior, recuerda el nombre de los planetas transuránicos. El profesor G. T. Seaborg, de la Universidad de California, en unión de Perlman, ha logrado separarlos de la pezblenda por medios químicos, y esto ha venido a demostrar su existencia en la Naturaleza. La proporción en que aparece en el aludido

mineral, que tan sólo alcanza  $10^{-14}$ , basta a evidenciar la imposibilidad material de efectuar la separación del plutonio antes de que se conociesen exactamente las propiedades químicas. Dicha proporción obliga, por su pequeñez, a sospechar que se ha originado mediante captura de neutrones por el uranio-radio y transformación ulterior, por emisiones  $\beta$ , del U-239 en neptunio y plutonio.

Asimismo, el bombardeo del plutonio con partículas  $\alpha$ , ha conducido a la obtención de isótopos de otros dos nuevos elementos transuránicos, que tienen por números atómicos 95 y 96 y se reseñan con los nombres de *americio* y *curio*, en honor de América y de la familia Curie.

Todavía en los últimos tiempos, al someter el torio a un intenso bombardeo de neutrones, se ha logrado el U-233, que se produce ya en pequeñas cantidades en las grandes pilas atómicas de Hanford (Estado de Washington).

Según se ve, los trabajos de la Química nuclear amplían el sistema periódico de los cuerpos simples, pero a la vez han logrado completarlo. En diversas ocasiones se creyó haber descubierto los cuerpos que correspondían a los lugares vacíos, pero por no haber tenido confirmación los resultados, subsistían, en realidad, los huecos. Hoy se han desvahecido las dudas. El bombardeo del molibdeno con neutrones, ha rendido isótopos del elemento 43, llamado *masurio* anteriormente, y para el que los experimentadores han propuesto el nombre de *tecnicio* (del griego *tecnetos*, artificial) y el símbolo Tc.

Desde 1924, pretenden algunos investigadores el descubrimiento del elemento 61 de las tierras raras, que se ha denominado *florencio* o *ilinio*, aunque sin obtener ningún isótopo. Al presente, merced a las pilas de uranio se conocen varios, y, por esta razón, los químicos de la División Manhat-

tan proponen el abandono de los antiguos nombres y la adopción del de *ciclonio*, por la participación que el ciclotrón ha obtenido en los trabajos.

De análoga manera, el bombardeo del bismuto con partículas  $\alpha$  ha permitido obtener el elemento 85, que llevaba la denominación de *alabamio*, y se ha propuesto para el mismo el nombre de *astatio* (del griego *astatos*, inestable), con el símbolo At.

Por fin, se ha reconocido un isótopo natural del elemento 87, hasta ahora llamado *virginio*, y al cual se llama hoy *francio*, en honor de la patria de la descubridora.

Los elementos más vulnerables al bombardeo con neutrones lentos, y, por consiguiente, los más útiles para el aprovechamiento de la energía atómica, son: el U-233, el U-235 o uranio-actinio y el U-239 o plutonio. En todos ellos la escisión atómica, aparte de diversos efectos mecánicos, origina un enorme desprendimiento de calor. La escisión, por ejemplo, de un solo gramo de uranio-actinio, libera una energía del orden de  $4 \times 10^{23}$  mega electrón-voltios, lo que equivale a  $2,3 \times 10^4$  kilovatios-hora, comparables a los que produce la explosión de 30 toneladas de trilita.

El referido uranio-actinio se encuentra mezclado con el natural en la insignificante proporción de 0,71 por 100, según determinó Nier el año 1938, y es precisa la separación previa. Las dificultades de la misma, pueden imaginarse si se considera que se trata de isótopos con una diferencia de tres unidades másicas, y de ahí la necesidad del empleo de métodos extraordinariamente delicados. Se usan la difusión térmica, la difusión gaseosa por barreras, la centrifugación y el procedimiento electromagnético, métodos, a excepción del último, basados en las pequeñas diferencias del comporta-

miento medio de las moléculas, y tan sumamente dispendiosos, que se calcula en 75.000 dólares el coste del kilogramo de uranio-actinio concentrado al 10 por 100.

El plutonio, en cambio, se separa químicamente del uranio natural por contar con distinto número atómico; el procedimiento empleado permanece secreto, y parece que de una tonelada de uranio sólo se obtienen unos cuantos gramos de plutonio.

Asimismo se producen ya en los Estados Unidos ciertas cantidades de U-233 a partir del torio normal, y ello presta interés particular a las menas de dicho elemento.

No poco trecho queda aún por recorrer para la debida utilización de las reservas colosales de energía almacenadas en el minúsculo volumen de los átomos. Pero puede predecirse ya una absoluta revolución de los métodos actuales de la industria. Si verdaderamente los primeros resultados se enturbian por el deplorable móvil que se perseguía, no es menos cierto que la ciencia proseguirá su marcha en busca de triunfos beneficiosos para la Humanidad. Así, los elementos pesados, y muy especialmente el uranio, deben considerarse como las fuentes de energía del porvenir.

\* \* \*

La dificultad de abastecimiento del uranio estriba en su gran difusión, que imposibilita con harta frecuencia el aprovechamiento. El número de especies minerales que le contienen, excede de 100, pero la mayoría constituyen meras curiosidades mineralógicas, de las que buena parte son productos secundarios de alteración que, en rigor, sólo difieren por el número de moléculas de agua contenida.

Las menas de significación, desde el punto de vista mine-

ro, son: en primer término, los *óxidos* e *hidróxidos*, especies que, además de una ley elevada en uranio, poseen la propiedad de que la relación entre aquel y el torio es superior a  $10^3$ , circunstancia que realza su valor para la extracción del radio, aplicación principal hasta estos últimos tiempos.

Otro buen mineral es la *carnotita*, pues aunque pobre en uranio, constituye una mena apreciable gracias al contenido de vanadio, que acrece el valor comercial.

Asimismo los fosfatos que llevan el nombre de *micas de uranio*, suelen ser beneficiables, no obstante presentarse muy diseminados y ofrecer escaso rendimiento. Por último, se explota la *betafita*, a pesar de que contiene 1 a 4 por 100 de torio, que le resta valor para el beneficio del radio.

El mineral uranífero específico es la *pezblenda*, *pezurano* o *uranio píceo*, forma coloidal de la *uraninita* o uranato de uranio anhidro, que contiene, por término medio, 50 por 100 de  $U^3O^8$ . Suele tener color negro semejante al de la pez (a lo que debe su nombre), grisáceo, pardusco o verdoso, con lustre aperciopelado en las fracturas recientes y mate en las antiguas; la raya es negra, grisácea, parda o verde oscura. En el tiempo de su formación, la fórmula química sería exactamente  $UO^2$ , con sustitución isomorfa del uranio por el torio y los elementos de las tierras raras, en particular el cerio; pero a consecuencia de la desintegración natural del uranio, se han formado cantidades variables de helio y plomo con los demás cuerpos de la familia radiactiva.

La cantidad de plomo-uranio, de peso atómico 206, último término de la familia, depende, como es lógico, de la edad del mineral, y así, cuando no existan plomo ordinario ni plomo-torio, será posible calcular aquélla, e incluso la de la roca madre. De esta manera se ha determinado que la *uraninita* de Joachimsthal (Checoslovaquia) cuenta doscientos

siete millones de años; la de Katanga (Colgo Belga), seiscientos sesenta y cinco; la de Dakota del Sur (Estados Unidos), mil seiscientos sesenta y siete, etc.

Se caracteriza la pezblenda por el elevado contenido de tierras raras, las cuales, según su naturaleza, motivan variedades especiales; las más importantes son: la *bröggerita*, que encierra gran cantidad de torio; la *cleveita*, abundante en itrio, erbio y cerio, y la *nivenita*, particularmente rica en itrio.

El reducido peso específico de la pezblenda, se debe a la mezcla de las sustancias extrañas y a la hidratación producida como consecuencia de una descomposición incipiente.

Encuétrase la especie muy difundida en las pegmatitas, en compañía de los minerales propios de aquellas, pero son poco frecuentes las acumulaciones de importancia. También hace aparición en determinados filones hidrotermales, tránsito a las formaciones neumatolíticas, a cuya categoría pertenecen, casi sin excepción, los criaderos de interés industrial.

Constituye la *carnotita* un urano-vanadato potásico hidratado, con posibilidad de sustitución del metal alcalino por el calcio; forma un polvo cristalino amarillo que se mezcla siempre con cuarzo y abundante ganga, de modo que, cuando contiene 6 a 7 por 100 de  $U^3O^8$ , ya se considera como de la mejor clase. Las menas inferiores sólo encierran 0,5 por 100, pero se hacen aprovechables por mezcla con otras más ricas, a fin de obtener un mineral de 2 por 100 de  $U^3O^8$  y 4 por 100 de  $V^2O^5$ . La especie se encuentra, geológicamente, impregnando una arenisca muy abundante en Colorado y Utah (Estados Unidos).

La *tiuyamunita*, es una carnotita cálcica que forma drusas en algunas calizas de Siberia y Turquestán.

Los ortofosfatos dobles, hidratados, de uranio y calcio

o uranio y cobre, que constituyen, respectivamente, las especies llamadas *autunita* y *torbernita* o *calcolita*, suelen presentarse asociados a la *uranocircita* o uranato de bario; la primera especie tiene color amarillo, y la segunda, verde esmeralda. En cantidades que merezcan la explotación, se hallan como incrustaciones de las fisuras de los granitos, que forman agregados cristalinos de grano grueso, casi siempre hojosos. Debido al peso específico, variable de 3,5 a 3,9, la concentración mecánica es más sencilla que la de la carnotita.

La *betafita* es un titanio-niobato hidratado de uranio, de composición muy compleja; tiene color pardo amarillento, fractura con lustre resinoso, y encierra 26 por 100 de  $U^3O^8$  y 1 a 1,5 por 100 de  $ThO^2$ .

Finalmente, aunque por el modo de yacimiento y el comportamiento químico, la *tucholita* es una verdadera sustancia asfáltica, no deja de contener uranio, torio y tierras raras. Tiene color negro de pez, brillante, y aunque determina con frecuencia cristales cúbicos perfectos, acaso se deban a pseudomorfosis de uraninita. La especie de Shinarump (Utah), contiene 3,28 por 100 de  $U^3O^8$ .

En sentido geoquímico, el uranio es un elemento litófilo, de gran afinidad con el oxígeno, que, según Schneider, se talla en la corteza terrestre en proporción de  $4,2 \times 10^{-4}$ . Solamente en particulares ocasiones determina concentraciones beneficiables con carácter industrial. Estos yacimientos pueden ser clasificados del siguiente modo:

I. PRIMARIOS.—Masas compactas, reniformes, amorfas o criptocristalinas, e incluso cristales bastante voluminosos, en los criaderos *ricos*; pequeños nódulos diseminados, o individuos cristalinos de especies raras, en los *pobres*. Adoptan diferentes tipos:

a) *Ortomagmáticos*, localizados en las rocas de solidificación profunda. Los minerales aparecen como elementos de primera consolidación en los granitos, sienitas, dioritas, etc., y de ahí que muchas de ellas presenten fenómenos de radiactividad, variable generalmente de  $3,30 \times 10^{-12}$  a  $4,78 \times 10^{-12}$  gramos de radio, por gramo de roca.

b) *Neumatolíticos*, asociados a las pegmatitas y aplitas. Después que las plutonitas principales se han solidificado, se concentra el uranio, fuera de la fase sólida, en un ámbito en que impera el estado general de vaporización con abundantes materias volátiles y extremada tensión interna de gases y vapores que pugnan por abrirse paso a través de las fisuras de la masa solidificada. Al entrar en la zona hidatogena (por debajo de los  $365^\circ$ , temperatura crítica del vapor de agua), o antes, en presencia del oxígeno ocluido en el magma, las materias pasan a derivados oxigenados y se forman pegmatitas con fijación de uranio asociado al oxígeno, de manera semejante a la del estaño y el volframio. Influyen en la mineralización las exhalaciones neumatolíticas posteriores, que, además de la deposición de nuevos minerales, producen alteraciones en los preexistentes.

c) *Hidrotermales*, debidos a circulaciones acuosas seguidas o no de fenómenos de sustitución. Tales circulaciones arrastran materias disueltas o en suspensión, que se depositan más tarde, como especies epigenéticas, en determinados filones sulfurados complejos. La presencia en los mismos de la pezblenda, mineral oxidado, es una anomalía que hizo imaginar un origen secundario, mas por aparecer inferiormente a la zona de catamorfismo, debe descartarse ese punto de vista.

II. SECUNDARIOS.—Resultantes de la acción de los agentes exógenos, que ocasionan tanto la modificación de los ele-

mentos *in situ*, como el transporte de los nuevos minerales formados. Se producen así impregnaciones, de forma lenticular, en las areniscas y calizas, que suelen ser de explotación difícil, dadas las reducidas dimensiones y la pequeña ley del mineral; sin embargo, la composición de éste, más sencilla que en los yacimientos primarios, facilita el tratamiento industrial.

Hasta hace pocos años, se consideraban beneficiables los minerales uraníferos que contenían más de 50 miligramos de radio por tonelada, pues el referido elemento era el que daba su valor a las menas. La relación entre los dos metales, es en los yacimientos primarios de  $3,7 \times 10^{-7}$ , y en los secundarios  $3 \times 10^{-7}$ , aun cuando la cantidad de radio aprovechable es sólo  $2,5 \times 10^{-7}$ . Así podía determinarse el límite de explotabilidad desde el punto de vista del elemento radiactivo, pero dadas las novísimas aplicaciones del uranio, acaso lleguen a ser beneficiables las rocas ígneas con un contenido de  $8,5 \times 10^{-5}$  de este último cuerpo.

Superficialmente, todos los criaderos de pezblenda presentan iguales caracteres, aunque la variedad de especies secundarias, originadas por oxidación e hidratación, hagan difícil reconocerlos. Lo propio ocurre con los de carnotita, que al exterior ofrecen aspectos variados, pero siempre de forma lenticular y con un cubo que no excede de 100 toneladas. Sirve de orientación para los reconocimientos, el color del terreno, que, en el caso de minerales ricos, es decir, de 5 a 6 por 100 de  $U^3O^8$ , es amarillo brillante, mientras que con los de 2 a 3 por 100, adopta tonos anaranjados, pardos o negruzcos. La presencia del cobre imprime matices verdosos, y la del vanadio, tonos azulados, pardos o grises. Cuando aparece la calcita, el mineral es rubio amarillento, e incluso puede adquirir el color blanco.

La prospección del uranio sobre el terreno se efectúa con el electroscopio de campo o el contador radiofónico de partículas, aparatos que señalan la mayor o menor ionización del aire, por efecto de las radiaciones. También puede emplearse la lámpara de cuarzo para poner de manifiesto la fluorescencia de las sales de uranio, pero no es aplicable al caso de la pezblenda, que no da indicaciones.

En casi todos los países existen zonas uraníferas más o menos interesantes, pero son muy contados los que cuentan con yacimientos industrialmente beneficiables. El distrito más antiguo del mundo es el de Joachimsthal (Checoslovaquia), situado al N. de la nación, cerca del borde meridional de la Erzgebirge, en una zona de micacitas, pizarras calíferas y calizas cristalinas que forman pliegues disimétricos, arrumbados de E. a O. Se hallan limitados al E. y NE., por unneis con interstratificaciones cuarzosas posteriores a la metalización, mientras que al O. aparece un granito herciniano, a partir del cual irradian diques de microgranitos.

Los filones, de 0,15 a 0,60 ms. de espesor, forman una red ortogonal de direcciones N.-S. y E.-O. Los primeros, de gran riqueza y muy verticales, suelen ensanchar en profundidad, al paso que los E.-O., mucho más pobres, están dispuestos según el buzamiento moderado de los pliegues y se acuñan inferiormente.

La pezblenda se asocia a diversos sulfuros y minerales de plata y cobalto, con ganga de calcita y dolomita correspondiente a dos períodos; en los hastiales se encuentra una dolomía antigua, después viene la pezblenda y, finalmente, aparece otra dolomía posterior, que ocupa el plano medio de los filones. Dicha ganga, blanca o amarillenta, se hace gris oscura en el contacto con el mineral.

El último forma pequeñas vetas de 0,02 a 0,40 ms. de es-



pesor, y hasta 20 ms. de longitud, o bien se disemina en la micacita para formar menas de baja ley.

En sentido vertical, existen tres zonas de mineralización: la superior, de 300 ms., argentífera, con níquel y cobalto subordinados; otra de 200 ms., en la que predominan los últimos, disminuye la plata y se presenta el uranio y, finalmente, la inferior, con preponderancia del metal que consideramos.

A partir del siglo XVI, fué explotada la zona superior para beneficiar la plata y el cobalto; en 1853 comenzó la del uranio, no sin vencer grandes dificultades de desagüe, y once años después quedó la mina enteramente anegada por un agua de 21° de temperatura. Se logró, con posterioridad, dominar el desagüe, pero al continuar la profundización, volvieron otra vez a inundarse las labores en 1901. Después de veintidós años de abandono, se acometió nuevamente el desagüe para aprovechar el agua termal en un balneario. Hoy el yacimiento, casi agotado, sólo tiene un valor histórico.

Desde 1908 se explotan en Portugal los criaderos del extremo meridional del gran macizo granítico que se extiende desde Viseu a Guarda, y llega en algunos puntos a nuestra frontera. Dicho granito, constituido por biotita, moscovita, feldespato y cuarzo con tendencia a cristalizar en forma bipiramidal, ofrece filones de pegmatita y aplita, que contienen, en la parte superior, autunita y torbenita, y en profundidad, pezblenda, que ha llegado a explotarse hasta los 100 metros. Los referidos filones son poco potentes, pero el color de las menas facilita el arranque y estrío, siquiera no falten zonas donde la presencia del uranio tiene que comprobarse con el electroscopio. En la mina «Urgeiriça», de Viseu, se explotan minerales con 2 por 100 de  $U^3O^8$ , originados probable-

mente por la acción de los gases y las aguas sobre el apatito de las rocas.

En 1910 comenzaron a trabajarse en los Estados Unidos diversos yacimientos uraníferos, que se extienden en una gran corrida desde el Estado de Nevada al Colorado, pasando por Utah, donde radica la mayor riqueza. Aunque las menas llevan el nombre genérico de carnotita, a esta especie se asocian otros vanadatos de uranio, como la *uvanita* y la *ferganita*, vanadatos de uranio y calcio cual la *viuyamunita* y la *rauivita*, y, por fin, una mica vanadinífera: la *roscoelita*, semejante a la moscovita, en la que el anhídrido  $V^2O^3$  reemplaza a la alúmina en proporción de 20 a 29 por 100.

Los expresados minerales impregnan distintos estratos horizontales de arenisca y molasa, de edad jurásica, y a veces forman también bolsadas (*bug-holes*) en los mismos. En todos los criaderos se encuentran restos de troncos vegetales e interestratificaciones de una sustancia carbonosa, en cuyo contacto se advierten las máximas concentraciones, circunstancia que señala la decidida influencia en la precipitación del mineral.

La impregnación se extiende a varios niveles estratigráficos que pueden seguirse regularmente en varias centenas de metros, y también se localiza en columnas a lo largo de determinadas fisuras. El mineral sólo contiene, de ordinario, 1,5 por 100 de uranio y 2,5 por 100 de vanadio, y cuando se arranca es tan blando que puede moldearse con los dedos; pero al aire, se hace tan duro y quebradizo que ocasiona una gran cantidad de mena pulverulenta, la cual es preciso tratar con precauciones especiales para efectuar la concentración.

Muchas tierras con aspecto de estériles contienen, sin

embargo, carnotita, que se revela por la intensa coloración amarilla que produce la acción del calor, fenómeno aprovechado en los frentes de arranque, en los que se encienden hogueras para descubrir las zonas de enriquecimiento.

La única ganga que se presenta es el yeso, y las zonas mineralizadas son tanto más ricas cuanto mayor es la sobrecarga de roca estéril, lo cual parece indicar el influjo de las aguas descendentes en la formación de los criaderos. Probablemente se habrán originado éstos por una circulación de aguas meteóricas de la época jurásica, que lixiviaría el Cambriano, en el que existirían filones uraníferos complejos con sulfuros y seleniuros de cobre y plata. Las aguas debieron de acumularse en cuencas cerradas pobladas de vegetación, y merced a un clima particularmente desértico, se precipitarían las sales metálicas en las depresiones turbíferas. Esta génesis *sedimentaria* se acompañó, además, de otra *metasomática*.

Según F. L. Hess, las reservas ascienden a 4.500 toneladas de vanadio y 2.500 de uranio. Pero la nación cuenta todavía con los yacimientos de pezblenda de Carolina del Sur y otros Estados.

El año 1920 empezó, en el Congo Belga, el laboreo de los yacimientos de la cuenca del Katanga Superior, que se encuentran en Shinkolobwe, a 50 kilómetros al O. de Luishia, en el ferrocarril de Elisabethville.

En dicha comarca, sobre un zócalo granítico y estratocristalino, aparecen dos series sedimentarias: una superior, o serie de Kundelungo, y otra inferior, pizarreña y dolomítica, bastante dislocada, que se muestra en discordancia en los ojales de los anticlinales de la primera.

La zona minera se halla en el centro del país, sobre un

espesor de 200 metros de calizas dolomíticas silíceas, cruzadas por abundantes vetas irregulares, cuya longitud no excede de 10 metros y que se diseminan en verdadero stockwerk. En ellas hacen aparición diferentes sulfuros: pirita, calcopirita, bornita, calcosina, etc., y además oro nativo y paladio, que se asocian a la pezblenda y a otras especies uraníferas de alteración, que llegan a una veintena y forman aureolas de vivos colores anaranjados en derredor de la pezblenda, que ocupa el centro del relleno. Como productos neumatolíticos, se advierten agregados fibrosos de prehnita y láminas delgadas de moscovita y flogopita.

Las rocas de la caja ofrecen cuarzo, apatito, turmalina y monazita, y además están mineralizadas por carbonatos magnesianos que corresponderán, acaso, a una fase hidrotermal postrera. Seguramente, determinados fenómenos de corrosión dejarían paso libre a las aguas descendentes, que han sido las productoras de la mineralización uranífera secundaria.

El mineral se arranca con las rocas en que arma, y se somete después al estrío. Contiene 20 a 40 por 100 de  $U^3O^8$ , y la pezblenda 65 a 80 por 100 de uranio metálico.

En otros países de Africa Oriental, hay asimismo criaderos de características análogas a las del Congo Belga, y han llegado a encontrarse ejemplares de pezblenda de hasta 30 kilogramos de peso. También en la isla de Madagascar se explotan la betafita y la pezblenda con 26 a 27 por 100 de  $U^3O^8$  y 1 a 1,5 por 100 de  $ThO^2$ .

El Canadá posee importantísimos yacimientos de pezblenda y ocre de uranio, descubiertos en 1930 en Wirbelforce (Ontario Central) y en a provincia de Yukon, al O. del lago del Gran Oso, sobre el círculo polar ártico.

Los sedimentos algonquinos o cambrianos se hallan allí perforados por grandes apuntamientos de granito y sienita,

en cuyos contactos aparecen filones complejos de cobre, níquel y cobalto, acompañados de pezblenda, que ofrecen como gangas el cuarzo, los carbonatos de hierro y manganeso y la baritina. Como elemento accesorio, abunda la plata nativa, en forma de pajuelas diseminadas en la pezblenda o en la ganga, o bien determinando pequeñas vetas en las que se asocia a los arseniuros de níquel y cobalto, a modo de acumulaciones distintas.

La explotación es difícil durante el invierno, a causa de la latitud del lugar, y como además se hallan las minas a 1.400 kilómetros del ferrocarril, es preciso transportar el mineral en avión hasta la refinería de Labine Point. En los primeros tiempos se obtenían, por simple estrío a mano, menas de 60 por 100 de  $U^3O^8$ , pero después la preparación mecánica permitió grandes aumentos de producción. Hoy se consideran estos yacimientos los más ricos del mundo, y parece que existen cubicadas 6.000.000 de toneladas de mineral con 30 a 40 por 100 de  $U^3O^8$ .

Rusia cuenta con los criaderos de uranio de la península de Kila, cerca del puerto de Murmansk, y además posee los notables de Ferghana (Turquestán), situados en la gran corrida de calizas paleozoicas de los montes Tyuya-Muyun, que son los que abastecen a los soviets. El mineral, con un contenido de 1 a 1,5 por 100 de  $U^3O^8$ , sólo llega hasta los 60 metros de profundidad, y forma en las cavidades de las calizas bellas drusas de color amarillo. Es un urano-vanadato de calcio que se designa con el nombre de tiuyamunita, derivado del de la localidad.

Existen en Australia algunos yacimiento de autunita y torbernita ubicados en Mount Painter (Olary, Adelaida), que se trabajan desde 1926. Las menas sólo contienen 1 a 2 por 100 de  $U^3O^8$ , y la explotación resulta bastante onerosa, por

las dificultades de comunicación con los centros industriales.

Los propios fosfatos se encuentran en los granitos, granulitas y pizarras antiguas de la región de Autun (Macizo Central francés), e igualmente en Gruy (Saona y Loira), Chaux (Puy de Dome), Saint Yrieux (Limoges), Chaudebout y Ambassac, pero todos los yacimientos poseen poca importancia.

Asimismo hace aparición la pezblenda en los filones argento-cobalto-niquelíferos de Annaberg y Schneeberg (Sajonia), y en los de Johannegeorgenstadt, que contienen además bismuto nativo; son criaderos de interés muy secundario, lo mismo que los de Cornwall (Inglaterra), Falun (Suecia), Vale (Noruega) y otros de Finlandia, Suiza, Italia, Bulgaria, Méjico, Perú, el Brasil y la Argentina.

En nuestro país, los yacimientos uraníferos adoptan todos los tipos, de modo que se encuentran los ortomagmáticos, en la provincia de Cáceres; los neumatolíticos, en Córdoba y en la sierra de Guadarrama; los hidrotermales, en Badajoz y Córdoba, y los secundarios, en Montanuy (Huesca).

Los destacados ingenieros L. Mallada y J. Egozcue, fueron los primeros en señalar la existencia del uranio en España, al encontrar la torbernita en los filones de fosforita que cruzan el granito y las pizarras cambrianas de los términos de Trevejo, Valencia de Alcántara, Alburquerque, Trujillo y Montánchez, en la provincia de Cáceres.

También el profesor E. Hernández-Pacheco describió un filón de cuarzo lechoso, con vetas irregulares de fosforita compacta y laminillas de torbernita, que arma en el granito de Albalá, y Szilard indicó la misma especie, además de la pezblenda, en otros filones localizados en el granito y el Cambriano de Fuente de Cantos y Monesterio (Badajoz).

En el sector meridional de esta última provincia, al N. de la sierra de Menga, que corresponde al postrer segmento occidental de la cordillera Mariánica, se encuentra también la zona uranífera de Segura de León. El país está constituido por plegamientos hercinianos arrasados, entre los que irrumpen grandes afloramientos, apófisis y digitaciones del granito que forma el substrato comarcal.

En el paraje llamado Fuente de la Bejarana, a unos 200 metros al N. del mencionado pueblo, como en los que llevan los nombres de El Encantamento y La Setolilla, existen asomos de una roca granítica muy alterada, en la que se advierten, además de cuarzo, feldespato y escasa cantidad de biotita, algunas laminillas negras y concentraciones de color verdoso, independientes de la descomposición del elemento ferromagnesiano. El análisis de dichas láminas negras, reveló la presencia de la carnotita con 0,37 a 3 por 100 de  $UO_2$ , 0,19 a 0,75 por 100 de  $V_2O_5$  y 1,09 por 100 de  $K_2O$ .

Es indudable que el interés de esta zona, cuya situación geográfica constituye ya un dato favorable, dada la proximidad a Azuaga y otros lugares donde se han observado manifestaciones uraníferas.

En la sierra de Guadarrama fué encontrada la torbernita en Torreldones, Colmenar Viejo y Colmenarejo, y además el ingeniero A. Comba la halló asociada a sulfuros de cobre y hierro en algunos diques de pórfido y pegmatita que cruzan el granito y neis de San Rafael (Segovia), particularmente en los existentes en la margen izquierda del río Gudillos.

En Cataluña se ha indicado la pezblenda en Santa Coloma de Gramanet (Barcelona), y M. Caralp, geólogo francés, halló en Montanuy (Huesca) un horizonte de areniscas permotriásicas cupríferas, de tres a cuatro metros de espesor,

que contienen además uranio y vanadio. Es éste un verdadero yacimiento de impregnación, algunas de cuyas muestras han revelado 35 por 100 de Cu, 2,5 por 100 de uranio y 3,1 por 100 de vanadio.

Los criaderos españoles de mayor importancia son, hasta ahora, los de la provincia de Córdoba, descubiertos en 1939 por el ingeniero A. Carbonell. En la llamada Sierra Albarraña, sita en los términos de Fuente Ovejuna y Hornachuelos, las pegmatitas que encajan en los neis, micacitas y talcitas del estrato-cristalino, son ricas en minerales de uranio y berilio. Los contactos y zonas adyacentes a tales rocas ofrecen pezblenda, autunita, betafita y otras especies, y de cada tonelada de pegmatita pueden separarse fácilmente, por estrío, unos tres kilogramos de mineral con 40 por 100 de  $U_3O_8$  o, lo que es lo mismo, 33,9 por 100 de uranio metálico.

La corrida metalífera tiene 25 kilómetros de longitud por seis de anchura, y se han comprobado manifestaciones radiactivas en más de 300 puntos.



**LA FAUNA DEL EOCENO INFERIOR  
DE AREN (HUESCA)**

**POR**

**ANTONIO ALMELA**



ANTONIO ALMELA

## LA FAUNA DEL EOCENO INFERIOR 'DE AREN (HUESCA)

Hace algunos años tuve ocasión de hacer un reconocimiento geológico por el Eoceno comprendido entre los ríos Noguera Ribagorzana e Isábena, en compañía de mi compañero señor Rios y del doctor Garrido, comprobando la riqueza fosilífera de los niveles inferiores, puesta ya de relieve en 1881 por Carez en su «Étude des terrains cretacées et tertiaires du Nord de l'Espagne», en donde describe algunas especies nuevas de esta zona.

Posteriormente he estudiado con más detenimiento el Eoceno de los alrededores de Arén, lo que me ha permitido reunir una fauna bastante abundante, en la que he encontrado algunas especies nuevas de foraminíferos.

La fauna corresponde a múltiples niveles de la parte baja del Eoceno y presenta características bastante diferentes de unos a otros, y esto, unido al hallazgo de especies nuevas, me ha inducido a dar una nota describiendo éstas y detallando lo más posible los distintos niveles y faunas que he encontrado.

El itinerario realizado ha sido por el O. del Noguera Ribagorzana, desde Arén, hacia el SO., hasta el pie de la Sierra de Claravalls.

Carez, en su obra citada, da en la página 213 un corte muy bien visto, desde Arén hasta San Esteban del Mall, en

dirección E.-O., que tiene, a mi juicio, el inconveniente de seguir las capas en su dirección, lo que, unido a la variabilidad de su potencia, hace que la determinación de ésta sea más imprecisa y obtenga espesores bastante menores de los que yo deduzco, siguiendo el buzamiento de las capas.

La serie que Carez encuentra en este recorrido es como sigue:

1.—Areniscas senonenses con <i>Inoceramus</i> .....	40 m.
2.—Arcillas rojas garumnenses .....	90 m.
3.—Caliza de Orbitolites .....	15 m.
4.— » » <i>Lucina corbarica</i> Leym. y <i>VelatesSchmideliana</i> Chemn.....	25 m.
5.— » Margosa de Operculinas ( <i>O. granulosa</i> ) .....	40 m.
6.— » de Alveolinas ( <i>A. subpyrenaica</i> Leym.) .....	55 m.
7.—Margas azules de Nummulites, Operculinas, Orbitolites, etc. y Turritellas .....	80 m.
8.—Areniscas y pudingas con <i>Ostrea multicosata</i> .....	250 m.
9.—Caliza de Alveolinas ( <i>A. subpyrenaica</i> ) .....	30 m.

Bajando de San Esteban al río Isábena, bajo las areniscas y pudingas (8) con 100 m. de potencia, señala 30 m. de calizas margosas de Alveolinas, Nummulites, *Cerithium*, *Crasatellas* y Equinidos, y debajo las margas azules (7), con la siguiente fauna:

*Natica rodensis*, Car.

» sp.

*Turritella dufrenoyi*, Leym.

» *rodensis*, Car.

» *trepina*, Car.

» *figolina*, Car.

» sp.

*Cytherea* sp.

*Ostrea multicosata*, Desh.

*Schizaster vicinalis*, Ag.

*Operculina ammonea*, Leym.

*Trochocyathus Van den Hecke*, M. Edw. y Haime.

*Nummulites striatus*? Def.

Este último fósil, seguramente confundido, tal vez con *A. globulus* u otra especie afin.

La sucesión de niveles que yo he encontrado, en líneas generales semejante a la anteriormente expuesta, es la siguiente:

El pueblo de Arén está edificado sobre los niveles superiores de las areniscas maestrichtienses, y sobre éstas descansa la serie de arcillas y margas garumnenses, de color rojo intenso, que vienen recubiertas por unos 20 ms. de pudingas de elementos gruesos y medianos, de color rojo chocolate. El conjunto garumnense tiene aquí un buzamiento de unos 30°, y su potencia aproximada es de 600 ms.

Sobre estos conglomerados y sin discordancia visible, descansa la serie eocena, que al S. y SO. de Arén comienza por una alternancia de bancos de caliza de Alveolinas de unos 50 centímetros de espesor y margas arenosas amarillentas en capas de un metro.

Los baños más margosos dejan en libertad abundantes Alveolinas, Lucinas, Velates y trozos de grandes Ostreas, de cuya fauna he podido determinar las siguientes especies:

*Alveolina subpyrenaica*, Leym.

*Flosculina globosa*, Leym.

*Conoclypus lucentinus*, Cott.

» *pyrenaicus*, Cott.

*Lucina corbarica*, Leym.

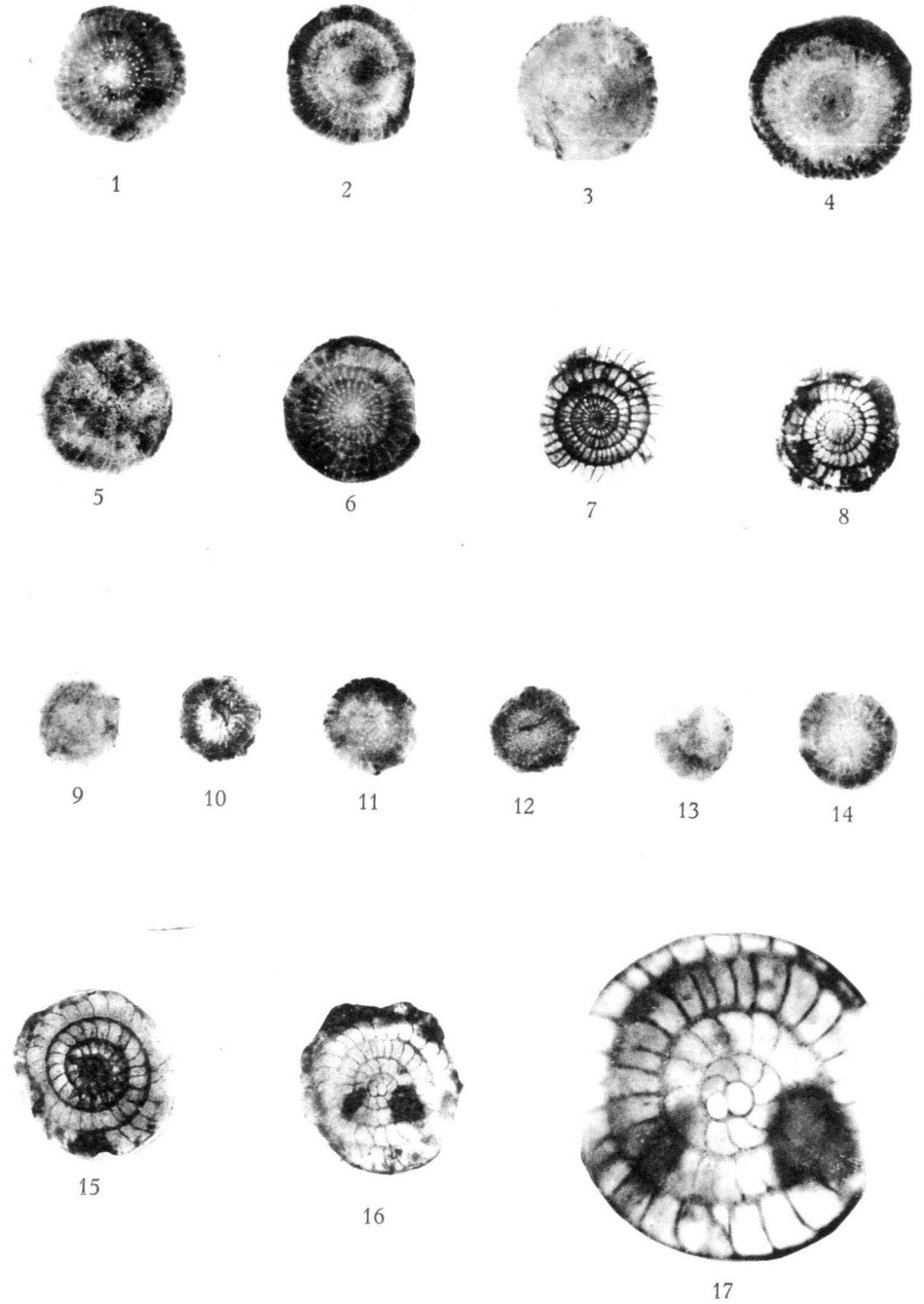
*Ostrea gigantea*? Brander.



LAMINA I

EXPLICACION

- Figs. 1-6. *Assilina arenensis*, n. sp.  $\times 3,5$ .
- » 7-8. » »  $\times 3,5$ . Secciones ecuatoriales.
- » 9-14. *Assilina subarenensis*, n. sp.  $\times 4,5$ .
- » 15-16. » »  $\times 7$ . Secciones ecuatoriales.
- » 17.  $\times 14$ . Parte central de la fig. 16.





*Velates schmideli*, Chemn.

*Nautilus rollandi*? Leym.

Es muy curiosa la rápida variación de facies de este nivel, pues a la izquierda del Noguera Ribagorzana, las calizas desaparecen pronto, apoyándose directamente las margas sobre el Garumnense, mientras que más al O., en el Bosque de Berganuy, todo el paquete de capas está integrado por calizas duras, de color gris claro, con Alveolinas. La potencia medida en el corte es de unos 60 ms.

Sobre este nivel descansan las margas azules, tan típicas del Eoceno aragonés y que, por su identidad de aspecto, crean lugar a error en su situación estratigráfica.

En la zona central del Alto Aragón y concretamente en las sierras de Alquezar y Sevil, por no citar más lugares, las margas azules descansan sobre potentes series de calizas, que en la base tienen Alveolinas y en la parte alta Nummulites grandes, lutecienses, como el *N. perforatus*, por ejemplo. Estas margas representan, pues, allí, con toda seguridad, el Luteciense, y tal vez también algún nivel Auversienne.

Por el contrario, en Arén descansan, tanto por razón estratigráfica como paleontológica, sobre estratos claramente montienses o a lo sumo thanetienses, y, por lo tanto, corresponden, cuando menos en parte, al Eoceno inferior. Pero además, como ahora veremos, la fauna encontrada en sus niveles más altos es francamente ypresiense, lo que me hace incluir a todo el nivel de margas azules de Arén en el Eoceno inferior.

Los 20 ms. de margas azules inmediatamente superpuestos a las calizas de Alveolinas, contienen una gran cantidad de Turritellas, generalmente bien conservadas en su escultu-

ra, con algún otro fósil. Entre el material recogido, he determinado las siguientes especies:

*Trochocyathus taramellii* d'Ach.

*Turritella ataciana*, d'Orb.

» *rodensis*, Carez

» *figolina*, Carez

*Natica rodensis*, Carez

Como se ve, aparecen aquí también las especies nuevas determinadas por Carez poco más al O., en el valle del Isábena.

Estas Turritellas siguen apareciendo en estratos superiores hasta un nivel de 150 ms. sobre la base, pero la cantidad de individuos va decreciendo a medida que ascendemos estratigráficamente.

En toda esta potencia, existe alguna capa intercalada, más dura y arenosa, y al llegar al nivel citado, se encuentra una de estas intercalaciones constituida por un banco de 60 centímetros de marga arenosa amarillenta, que contiene una gran cantidad de foraminíferos, entre los que creo existen dos especies nuevas de Assilinas que más adelante describo. El conjunto de la fauna determinada es el siguiente:

*Alveolina subpyrenaica*, Leym.

*Flosculina globosa*, Leym.

*Nummulites murchisoni*, Brunn.

» *globulus*, Leym.

» *guttardi*, d'Arch.

*Assilina arenensis* n. sp.

» *subarenensis*, n. sp.

*Operculina paronai*, Chec.-Risp.

*Trochocyathus taramellii*, d'Ach.

*Porocidaris serrata*, d'Arch.

*Lunulites punctatus*, Leym.

*Serpula quadricarinata?* Munst.

*Turritella ataciana*, d'Orb.

» *rodensis*, Carez.

Es, por lo tanto, netamente ypresiense. Poco más arriba existe un nivel de margas que se caracteriza por la gran cantidad de Discocyclinas que contiene, casi con exclusión de cualquier otro fósil; con ellas se encuentran también algunas pequeñas Operulinas, siendo las especies determinadas:

*Operculina couizaensis*, Donc.

*Discocyclina tenuis*, Douv:

Por encima de este nivel, existen unos 400 ms. de margas azules, casi puras y sin estratificación visible, en las que no he podido hallar fósiles, tal vez por estar en gran parte recubiertas por el Cuaternario, pero a continuación vienen 50 metros de margas que de nuevo presentan intercalaciones de margas oscuras más duras, de 0,5 ms. de potencia, separadas por 10 a 15 ms. de margas azules, y tanto en unas como en otras, la fauna es muy abundante, aunque no variada, pues se reduce casi exclusivamente a Foraminíferos y Ostreas, todo bien conservado.

Las especies determinadas, todas ellas muy abundantes, son:

*Nummulites globulus*, Leym.

*Assilina leymeriei*, d'Arch y Haime.

*Discocyclina tenuis*, Douv.

<i>Ostrea moussolensis</i>	var.	<i>lhermensis</i> ,	Astre
»	»	» <i>raulini</i> ,	Astre
»	»	» <i>parvula</i> ,	Astre
»	»	» <i>atacica</i> ,	Astre
»	»	» <i>rectoparva</i> ,	Astre
»	»	» <i>delbosi</i> ,	Astre

Los foraminíferos de esta fauna encontrada en los niveles superiores de las margas azules, son también típicos del Eoceno inferior, por lo que incluimos en este piso, no sólo las calizas de Alveolinas, sino también todo el nivel de margas azules, pero insistiendo en que ello no debe hacerse extensivo a las margas azules eocenas de otras localidades, que casi siempre son lutecienses, y aun a veces Auversienses.

La potencia de margas azules, medida al S. de Arén, es aproximadamente de 600 ms. Sobre ellas descansa una serie muy potente, atribuida ya generalmente al Eoceno medio y superior, de facies flych, que en los primeros 150 ms. de potencia está integrada por margas todavía grises con intercalaciones de molasas tableadas con restos de Ostreas. El resto de la formación en la zona que nos ocupa, está constituido por una alternancia de margas pardas o rojizas y areniscas bastas de cemento calizo, con algunos niveles de pudingas.

*Descripción de las especies nuevas.*—En uno de los niveles fosilíferos de margas azules, en medio de una fauna no muy variada, existe gran cantidad de pequeños foraminíferos bastante planos, que estudiados en el laboratorio han resultado ser Assilinas, cuyas características no encajan en ninguna de las especies por mí conocidas. Se encuentran juntas las dos generaciones, microsérica y macrosérica, que a continuación describo, denominando a la generación macrosérica con el prefijo *sub*, como es ya costumbre.

Me inclino a sospechar que estas especies deben ser lo que Carez llama Orbitolites en el nivel 7 de su corte, pues en el material recogido no he encontrado ningún ejemplar de este género, mientras que mi Assilina, por su superficie lisa y plana puede confundirse, a primera vista, con un Orbitolites.

*Assilina arenensis* n. sp.—Especie de tamaño mediano y bastante delgada; su diámetro oscila entre 5 y 7,5 mm., y el espesor entre 0,5 y 1 m. Exteriormente, la mayoría de los ejemplares son lisos, sin que apenas se aprecien las trazas de la lámina espiral y los tabiques ni aun mojados, más que en la última vuelta.

En el centro muestra una ligera depresión, poco acusada, y en el borde sufren un ligero rebaje, aguzándose en la última vuelta, que forma una quilla aguda de borde fino redondeado. Casi todos los individuos son algo alabeados, especialmente hacia los bordes.

Sólo algunos pocos ejemplares son granulados en la región central, mostrando granulaciones blancas y finas, en la base de los tabiques. Estas granulaciones se disponen, pues, en espiral, y son algo más gruesas en el centro y se adelgazan hacia la periferia hasta llegar a desaparecer por completo a la mitad del radio aproximadamente. En los ejemplares granulados suele ser más visible por transparencia la lámina espiral y los tabiques.

La sección ecuatorial acusa cinco vueltas de espira, para un diámetro de 3 mm., y siete vueltas para un diámetro de 8 mm. Estas son de paso, que crece de manera regular y continua. La lámina espiral es delgada y crece también de manera regular, no excediendo nunca de 1/4 del paso.

La generación es microsérica y los tabiques bastante pró-

ximos, desigualmente espaciados, un poco inclinados hacia delante, rectos o ligeramente curvados, especialmente en las primeras vueltas, y en su unión con la vuelta siguiente, delimitan cámaras algo desiguales y doble altas que anchas.

La sección transversal muestra un huso, en que las primeras vueltas son por completo envolventes, pero las últimas no llegan al centro, dando lugar con ello a la depresión central que se nota exteriormente.

Guarda alguna analogía con la *A. mamillata* var. *a*, por su superficie lisa y su tamaño, pero se diferencia por ser esta última megasférica y tener los tabiques dispuestos más regularmente.

La determinación se ha hecho sobre un total de 80 ejemplares recogidos.

Yacimiento: Nivel de 60 cms. de marga arenosa amarillenta, intercalado hacia la base de las margas azules, a unos 1.200 metros al SO. de Arén.

*Assilina subarenensis* n. sp.—Es la compañera megasférica de la especie precedente, y sus características externas e internas son análogas a las descritas y reproducen el mismo tipo en tamaño más pequeño.

Su diámetro varía de 3 a 4 mm., y su espesor de 0,5 a 1 milímetro. Es algo más abombada que su compañera microsérica, y la depresión central es casi imperceptible en la mayoría de los ejemplares.

La sección ecuatorial muestra una cámara inicial doble, con la primera cámara algo mayor que la segunda y ambas subsféricas y soldadas casi tangencialmente, adoptan la forma de un 8.

La espinal presenta cuatro vueltas, para un diámetro de

4 mm., y tanto éstas como los tabiques, tienen una disposición idéntica a la descrita para la *A. arenensis*.

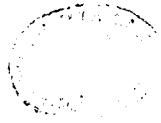
Esta especie parece menos abundante que su compañera, y la determinación se ha hecho sobre unos 20 ejemplares. Es posible, no obstante, que sea más abundante, pero su mayor pequeñez puede hacer que se recoja en menor cantidad de la que en realidad exista.

No presenta analogías claras con ninguna de las especies por nosotros conocidas, pues de la más próxima, que es la var. *a* de la *A. marmillata*, se diferencia por su menor tamaño, la mayor desigualdad en los tabiques y la doble cámara esférica.

**NOTA ACERCA DE LA GEOLOGIA  
CANTABRICA EN PARTE DE LAS  
PROVINCIAS DE VIZCAYA  
Y SANTANDER**

**POR**

**J. M. RIOS**  
**Ingeniero de Minas**



J. M. RIOS

Ingeniero de Minas

NOTA ACERCA DE LA GEOLOGIA CANTABRICA  
EN PARTE DE LAS PROVINCIAS  
DE VIZCAYA Y SANTANDER

*Antecedentes y consideraciones generales*

Durante el año 1948 he recorrido, en intensa campaña, la zona cantábrica costera, comprendida entre los ríos Miera y Nervión, y limitada al S. por la divisoria de los montes de Ordunte y de la Sia, es decir, extendiendo al N., hasta la costa, las investigaciones que hice y publiqué, en colaboración con los señores Almela y Garrido (1) y (2).

Es zona que, inexplicablemente, ha quedado casi virgen de estudios en las últimas décadas, no obstante los múltiples e interesantes problemas que entraña. Desde el punto de vista de la geología general de la Península, el más interesante es el del arco tectónico de Stille, que enlazaría dos ramas pirenaicas en orogénesis bilateral, y que situado al O. de la cadena ofrecería su acentuada convexidad hacia el O., precisamente en la zona vasca del nudo pirenaico-cantábrico-ibérico.

Esta nota constituye solamente un avance de los resultados de investigaciones, que serán publicadas más adelante;

por eso no voy a entrar en el estudio detallado de los antecedentes.

Baste decir que, con referencia exclusiva a dicha zona costera, no se ha publicado prácticamente nada, de carácter general, en estos últimos cuarenta años, quedando la altura de sus conocimientos geológicos muy en retraso con respecto al de otras regiones españolas contiguas y se basa todavía, casi exclusivamente, en las Memorias provinciales de Santander y Vizcaya, serie antigua (3).

De la provincia de Santander existe un informe de J. M. Mazarrasa (1925), creemos que inédito, que da un mapa de toda ella a escala 1:100.000, y una colección de cortes seriados. Es lástima que dicho trabajo no se haya publicado, o al menos difundido, pues aun con bastantes inexactitudes de detalle en la delimitación de las formaciones (se trata de un estudio de las líneas generales), es básicamente correcto, sobre todo en su parte estratigráfica, y sus cortes y datos tectónicos, aunque no se ajustan tampoco del todo a la realidad, la respetan en sus líneas fundamentales, y en su época constituyó una espléndida contribución y gran adelanto en el conocimiento de la geología regional.

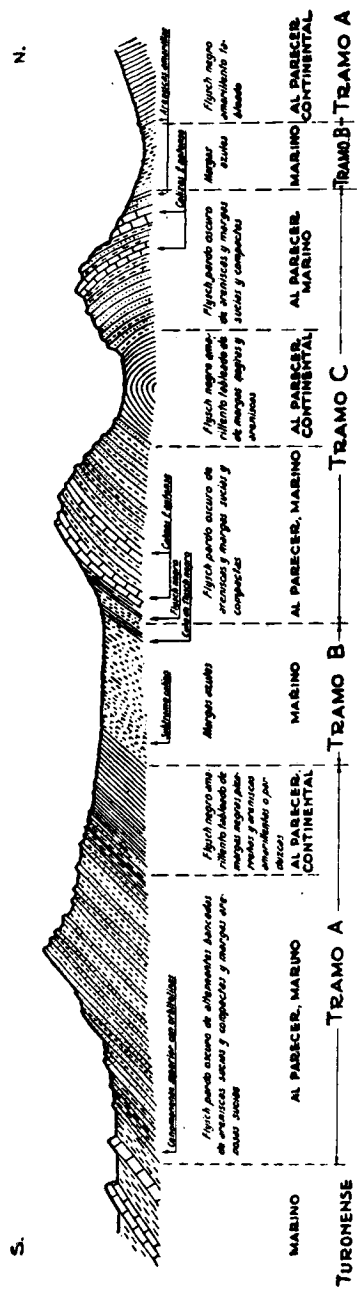
De la de Vizcaya, prácticamente nada, salvo estudios locales, realizados, en general, con un fin minero. Creemos que Lotze ha debido trabajar en toda esta región, pues los datos referentes a ella contenidos en varias de sus obras (4), sobre ser correctos, exigen un conocimiento detallado de ella, en la que estaba trabajando en 1936. Pero si bien aprovechó estos conocimientos en dichas publicaciones, no ha llegado a nuestras manos, ni sabemos que se haya publicado, el trabajo fundamental, que en nuestra opinión realizaba por encargo de Stille para enlazar las zonas estudiadas por Selzer

al E. (5), y por Karrenberg (6) al O. Trabajé en la zona santanderina a escala 1:50.000, y en la vizcaína a escala 1:25.000. Este último estudio fué realizado por encargo con que me honró don Juan Gavala, Director General de Minas, para servir de base a un estudio metódico de los criaderos de hierro de Vizcaya, y, terminado ya, esperamos será publicado pronto. En cuanto al de la zona santanderina, por ahora, no verá la luz y nos limitaremos a exponer solamente unas ideas generales, en esta nota. El estudio de la zona vizcaína ha sido más logrado que el de la contigua de Santander, seguramente porque habiendo sido efectuado después aprovechó la experiencia adquirida en la difícil observación geológica de estas regiones.

No cabe duda de que la zona es ingrata. No sólo la vegetación y la consiguiente escasez y discontinuidad de afloramientos son un obstáculo, sino que la estratigrafía es ingratísima, con una gran monotonía de confusas y variadas y repetidas facies, sin ningún horizonte guía en todo su enorme espesor de estratos. Los fósiles, escasos, constituyen apenas ayuda, y cuando, además, la tectónica se hace violenta e indecisa, la confusión llega al colmo. Una compensación supone la sucesión de espléndidos y maravillosos paisajes naturales desde los valles de la Gándara, del Miera y del Asón, con sus bellísimas y fantásticas hoces, hasta los más suaves y pastoriles de las Encartaciones vizcaínas, sin olvidar las escarpadas costas y sus playas de doradas arenas.

Advertiré, en relación con las dificultades expresadas, que las ideas que traje del campo eran muy confusas e incompletas, tanto en lo referente a estratigrafía como a tectónica. Sólo una lucha a pulso con los millares de observaciones individuales, por estaciones, ha permitido, «a posteriori», completar en el despacho la borrosa imagen, dándola

**ESQUEMA ESTRATIGRÁFICO**  
(ZONA VIZCAINA A LA ALTURA DE BILBAO)



Las espesores se refieren a los niveles y correlativamente de J a H. Se refieren a la cumbre de la zona vizcaína (Pizarras) y en muy poca medida.

ESPEORES ALIZNAGI  
TRAMO A. 4.000 m.  
B. 2.500 "  
C. 2.750 " - 1750 m.

Fig. 1

le perfiles más exactos y precisos, y llevando a resultados que están de acuerdo con los datos tectónicos y litológicos de las observaciones individuales, y que al mismo tiempo constituyen una explicación armónica y satisfactoria del conjunto. Lo hago constar así para subrayar la eficacia de un método cuyas características desarrollé con Almela y Garrido, y cuyos resultados se muestran eficacísimos en la resolución de los más variados tipos de problemas geológicos (7).

La estratigrafía de esta región se desenvuelve, sobre todo, en el cretáceo inferior, incluyendo en él, por similitud de facies y dificultad de separación, el cenomanense. La zona vizcaína no presenta otra formación, aparte quizás un ligerísimo entrante de turonense inmediatamente al S. de Valmaseda. En la santanderina hay, además, jurásico y triásico.

*Zona vizcaína.*

Voy a exponer primero la estratigrafía del cretáceo inferior de la zona vizcaína, porque es más clara, si bien esta claridad resulte quizás, como dijimos antes, de que su estudio, habiendo sido realizado posteriormente, ha aprovechado la experiencia ganada al tratar de resolver las dificultades de la zona santanderina.

Es un conjunto potentísimo de estratos, que iniciándose bajo el turonense al S. de Valmaseda por una alternancia de margas sucias y areniscas, cuajadas de orbitolinas (cenomanense de la presa de Ordunte), consta de arriba a abajo de los siguientes tramos (fig. 1):

A) Monótona alternancia de bancadas de areniscas margosas y margas sucias arenosas, o negras y pizarreñas (flysch pardo y negro de la parte superior) que se inicia con el cenomanense con orbitolinas (de Ordunte y S. de Valmaseda),



y que conforme descendemos se va disponiendo en capas más finas y limpias. Todo el conjunto dotado de gran regularidad en la disposición de sus bien marcados estratos. Espesor: 4.000 mrs.

B) Conjunto de margas grises y azules, compactas en cantera, disponiéndose en bancadas duras y regulares y meteorizándose en pizarrillas, y que presenta dos intercalaciones, una más alta y más caliza, otra más baja, de flysch pizarreño y negro. Espesor: 2.500 mrs.

C) Conjunto parecido al superior, en que alternan las margas y las areniscas, pero en que podemos distinguir:

1) Un tramo más alto de flysch negro amarillento, de estratificación fina y regular en que alternan las capas de margas grises o negras pizarreñas, y de areniscas finas amarillentas; este tramo se acuña hacia el NE., pasando lateralmente al

2) Tramo más potente de gruesas y potentísimas bancadas de feas y sucias margas arenosas duras y compactas, y bancadas, generalmente gruesas, de areniscas duras, siendo todo el conjunto muy arenoso y compacto y afectando igualmente una gran regularidad en su estratificación; su color es pardo oscuro. (Flysch pardo inferior.)

3) Tramo inferior, y más bajo visible, de flysch negro, de estratificación más fina y regular en que alternan las capas de margas apizarradas y areniscas pardas o amarillentas. Su base no es visible.

Espesor: 2.750 mrs visibles.

(Las cifras de espesores son aproximadas y más bien reducidas que exageradas.)

A este conjunto hay que añadir los niveles, a veces muy potentes, pero discontinuos, de calizas de morfología arrecifal y facies aptense, que se presentan intercalados a distintos niveles, pero prefiriendo, en la región vizcaína, los del contacto entre B y C, y la parte alta de C; parece haber, además, otras intercalaciones calizas más bajas en C, y, en cambio, no las hemos visto en A. Desempeñan un papel importante, por su abundancia, extensión y dureza.

Es muy difícil, o casi imposible, diferenciar A y C por

meras observaciones litológicas, y aun dentro de C los tres tramos sólo son diferenciables cuando se observan en serie continua. Es decir, un afloramiento aislado sería casi imposible atribuirlo a A ó C por la mera observación de sus rocas, y sólo se logra si las circunstancias ayudan y, con mayor o menor incertidumbre, por consideraciones o construcciones tectónicas. Para poder diferenciarlas hay que abarcar los grandes conjuntos, porque cualquiera de ellas, por cambio de facies, puede presentar el aspecto de las otras.

Paleontológicamente el conjunto es pobre en fósiles, salvo las calizas, que presentan abundantísimas toucasias (o afines), y orbitolinas, y en menor cantidad coralaris, restos de equinidos, ostreas y otros fósiles. Algunos, en distribución mucho más dispersa, presentan las margas. Además de orbitolinas y gruesas ostreas hay ammonites, belemnites, rhynchonellas y terabratulas, constituyendo una curiosísima faunela. Son muy raros los fósiles en los conjuntos A y C. Los niveles altos de A contienen abundantes orbitolinas, pero luego éstas son rarísimas, lo mismo que en C. Las facies de A y de C presentan un curioso ejemplo de dualidad, pues con idéntico aspecto litológico pueden contener orbitolinas o restos vegetales y lignitos, así como moluscos continentales, si bien tanto unos como otros fósiles resultan raros y escasos.

Los fósiles, tanto de Vizcaya como de Santander, aún no han sido clasificados. Lo más notable de lo recogido es la faunela de ammonites y belemnites antes citada y lo que parece ser, a primera vista, un chaetetes.

Así, pues, nunca puede decirse por el mero examen de las características litológicas si se trata de una facies continental o marina, salvo, claro es, las margas azules de B y las calizas, que son netamente marinas.

*Zona santanderina.*

Hacia Santander, este conjunto estratigráfico nos ha parecido aún más confuso e indeterminado. Quizás resulta, como hemos dicho antes, de que aquella zona la visitamos antes y entonces carecíamos de la experiencia adquirida luego en su estudio.

Allí parecería que el tramo B, de margas grises y azules intermedias, es mucho más discontinuo, y entonces el A y el C se juntan y es prácticamente imposible separarlos. No faltan, desde luego, las zonas de margas B, pero parecen pasar por tránsitos laterales a las facies A y C. Son frecuentes, además, como tránsito lateral e intermedio de las calizas a estas últimas facies. Las calizas en la zona de Santander desempeñan aún un papel más importante que en la que recorrimos de Vizcaya. Por lo pronto, se presentan a más variados niveles y empiezan en el tramo A, pero además alcanzan espesores y superficies mucho mayores, como, por ejemplo, en las inmensas moles calizas de los ríos Miera (Sierras de Porracolina, Hornizo y Matienzo), Asón (Sierras de Ramales y Ranero) y Trucios (Sierra de Valnero).

Las calizas tienen una planta y un alzado sumamente irregulares, como corresponde a su morfología arrecifal; su delimitación es puramente litológica y no tiene, en general, nada que ver con las habituales separaciones estratigráficas, ya que los límites de las calizas cortan a veces, como un muro, normalmente a la estratificación, a consecuencia de un tránsito lateral muy rápido, que algunos geólogos han confundido con fallas. Otras veces los tránsitos son más lentos y graduales.

Las consideraciones paleontológicas de la zona recorrida en Vizcaya pueden hacerse extensivas a la de Santander.

Bajo el cretáceo inferior, y presentando como tránsito

unas feas y bastas calizas dolomíticas, cargadas a veces con grano de cuarzo, viene el jurásico (liásico y quizás *logger inferior*), y bajo sus carniolas de base, del rético, el keuper.

*Rasgos tectónicos del conjunto.*

En cuanto a los rasgos tectónicos, son los siguientes:

Las directrices tectónicas vienen de la parte occidental de la provincia de Santander, ya con directrices EO.; al E. del río Miera la tectónica no es violenta (salvo cuando, localmente, el keuper empuja y levanta las capas) y se ajustan, con sinuosidades poco marcadas, a la citada directriz. Al entrar en la provincia de Vizcaya ésta cambia al SE., de modo que dibujen un amplio arco, cuya convexidad se dirige al N. Con esa dirección SE. o SEE. cruzan los accidentes tectónicos la provincia de Vizcaya hasta el Cadagua y Nervión. En Santander son más discontinuos, extinguiéndose unos y apareciendo otros. También son discontinuos, en cierta medida, con los de Vizcaya.

Un anticlinal maestro cruza la zona vizcaína desde el N. de Alén por Montellano, La Cuadra, Zollo y Miravalles. Es el gran anticlinal de Adán de Yarza, prácticamente simétrico (plano de su eje, vertical). Su flanco SO. se hunde bajo los niveles de Ordunte (ya en el cretáceo superior), de la gran unidad tabular alaveño-burgalesa.

El flanco NE. se pliega, con tectónica más violenta, en una serie de anticlinales y sinclinales replegados, que al llegar al Nervión constituyen unos paquetes de capas verticales o desplomadas, y esta tectónica se hace aún más violenta y confusa en la ribera derecha.

Cierto que hay accidentes tectónicos dirigidos de N. a S., pero éstos son accesorios y, al parecer, posteriores, resultado

quizás de reajustes tectónicos. El más notable es el que da lugar al afloramiento de la «cuchilla jurásica» de Ramales-Ampuero, verdadero afloramiento de tipo diapírico, en que el jurásico aflora verticalmente, rasgando de N. a S. el cretáceo inferior, en un afloramiento estrecho y larguísimo, y con un pequeño derrame lateral de keuper. Otros más pequeños son el sinclinal de Mioño, dirigido de N. a S., y el curvamien to en esta dirección de la terminación de un anticlinal fallado (Ontón), un breve sinclinalito (Mercadillo), y algún otro.

Pero estos accidentes tienen, en relación con los de dirección OE.-O. SE., una importancia meramente local; están limitados y comprendidos entre ellos. Recordemos de paso que otros accidentes pirenaicos de dirección NS. y mucho más importantes se cruzan con los de dirección pirenaica en el Pirineo de Huesca (el anticlinal de Sevil-Balcés, en la zona de Alquézar es el más importante y hay varios otros). Estos accidentes fueron señalados por Mallada, y a su significación tectónica prestó especial atención Selzer. Con Garrido y Almela los estudié años después; son posteriores a los de dirección pirenaica. Almela acaba de estudiar otro accidente, un anticlinal cretáceo, dirigido de N. a S., en Prado de Guzpeña, al E. de Cistierna, ya en la provincia de Palencia.

Los pliegues más importantes, como por ejemplo el gran anticlinal de Vizcaya, en el sector en que lo hemos visto, son simétricos. Sólo los pliegues más violentos, junto a la ría, presentan una vergencia, no excesivamente marcada, al NNE. Nos referimos a aquellos violentos pliegues en que los dos flancos se presentan agrupados isoclinalmente en un paquete de capas, a veces verticales, a veces algo desplomadas en dicha dirección.

Los accidentes NS. son, incluso los muy violentos, casi simétricos, y cuando no, su vergencia tiende a ser al E.

Pero, insistimos, la directriz tectónica fundamental y general es EO., en la provincia de Santander, y curva al EES., al entrar en la de Vizcaya, llegando con esa dirección, por lo menos, hasta más allá del Cadagua, donde, por ahora, la hemos abandonado.

Vamos a ver qué consecuencias lleva consigo esta disposición para el enjuiciamiento del arco tectónico de Stille.

Carecemos, por ahora, de tiempo para hacer un análisis detallado de la cuestión, pero nos proponemos examinarla detenidamente cuando, para preparar la hoja geológica de Bilbao a escala 1 : 50.000, completemos el estudio de zonas más al Este y dispongamos, además, del tiempo necesario para ahondar debidamente en estas complejas cuestiones.

Afortunadamente, el bonito estudio de Llopis Lladó sobre los enlaces occidentales del Pirineo, en relación con la estructura de Navarra (8), expone muy acertadamente y con singular concisión y claridad el estado actual, y prácticamente definitivo ya, de la cuestión.

Es evidente que, por la localización que da Stille a su agudo arco tectónico (9), no puede esperarse que resida precisamente en la zona recién descrita la clave absoluta de la cuestión, que se situaría más al Este. Pero dada la proximidad y la importancia de tal curvamiento de las directrices tectónicas era de esperar que en ella se reflejase, al menos, con cierta intensidad y, aún, que la afectase de lleno.

Los hechos que acabamos de exponer no abonan la hipótesis de Stille. Las directrices descritas, en dirección al Pirineo, se dirigen rectamente en dirección SEE. (10) a buscar, por Durango, Vergara y Ataun, el borde N. de la depresión

de Pamplona, enlazando allí con las directrices pirenaicas, ya bien conocidas, no sin adoptar antes una dirección EO. más neta. En sentido opuesto, hacia el Oeste, las directrices ofrecen su convexidad, en amplio arco, hacia el NNE.; algunos accidentes se internan hacia el mar, inmediatamente al Oeste del Abra bilbaína, pero casi con toda seguridad son los que surgen de nuevo para constituir la costa santanderina. Otros accidentes situados más al interior siguen fielmente esa disposición, y si bien su continuidad con los santanderinos no es patente, sí lo es, y muy netamente, la de sus directrices. Dentro ya de Santander estas directrices siguen en dirección EO. hacia el O ((5), fig. 21).

En cuanto a los accidentes NS., hemos expuesto que su importancia es muy accesoria, como se podrá juzgar cuando se publiquen los estudios detallados. Carecen de continuidad, no están generalmente arqueados y cuando lo están presentan su convexidad al NE. Son breves accidentes, comprendidos entre y limitados por los mucho más importantes, generales y continuos de dirección EO.-NOO.-SEE. Aquellos tampoco son una excepción, como queda dicho, dentro del Sistema Pirenaico.

Señaló Llopis acertadamente, y hemos contribuido al afianzamiento de esta idea, que los enlaces más meridionales desde Navarra a los Obarenes, y de los Obarenes hacia el Oeste, parecen continuos y pirenaicos.

La consecuencia del análisis de Llopis es que el arco de Stille, de existir, radicaría precisamente en la zona de Bilbao, Ramales, Reinosa y Sedano; pero los estudios de Ciry (11) parecen haber descartado las posibilidades de estas dos últimas zonas.

La zona de Bilbao-Ramales está ya fuera de cuestión, y la

ubicación del improbable problema quedaría reducida a la del O. de Villarcayo.

Sanz, en su recentísimo estudio sobre el petróleo (12), da precisamente un bosquejo geológico de esa zona, que aunque representado a escala 1 : 200.000, fué obtenido a 1 : 50.000, de modo que es detallado y exacto. Y además terminante.

Lotze dió un mapita de la disposición de la fosa cantábrica ((2), fig. 13), cuya configuración es confirmada, en la parte que hemos visto, por nuestras investigaciones. Así, pues, tanto la distribución e índole de las materias sedimentarias como la disposición y forma de las fosas, prejuzgaban ya una dirección casi pirenaica de los plegamientos (NOO.-SEE.).

Resumiendo, todo el cúmulo de conocimientos anteriores, a pesar de sus lagunas, permite anticipar con bastante certidumbre la no existencia del arco de Stille. Nuestras investigaciones al llenar una de aquéllas permite afianzarse más en la idea sin muchos temores de equivocarse.

Como la interpretación de Stille acerca de los enlaces accidentales de los Pirineos es ya antigua y anterior a la copia de datos suministrados posteriormente por una serie de publicaciones, entre ellas las que acabamos de citar, que contribuyen a su puntualización, tenía un gran interés conocer las ideas actuales del Prof. Stille acerca de este punto.

Las dificultades emanantes de la situación política mundial nos han impedido conocer directamente esta opinión.

Pero en cambio nos ha llegado la muy autorizada de Lotze, quien expresa textualmente interpretando la de Stille:

«Desde luego no existe tal arco, sino que los ejes de plegamiento se prolongan hacia el Oeste, en parte bajo el mar Cantábrico. Stille considera desde hace tiempo que no es sostenible, en vista de las investigaciones posteriores, la construcción de un arco tectónico en que los ejes de plegamiento,

aisladamente, se curvan desde la rama Norte a la rama Sur; la línea dibujada en su esquema debe considerarse, a la vista de las modernas investigaciones, como el límite exterior de la zona de plegamientos de tipo alpino, es decir, como una limitación del espacio intensamente dislocado contra el antepaís. De manera que, los ejes de plegamiento, de acuerdo con esta concepción, no han de curvarse forzosamente en arco.

La situación es parecida a la del Cáucaso, que, hacia el Oeste, se resuelve igualmente en pliegues individuales, y tampoco allí se ligan el Cáucaso septentrional y el meridional por medio de un arco.»

Así es como Stille, según Lotze, concibe actualmente las circunstancias regionales.

## BIBLIOGRAFIA

1. RÍOS, ALMELA y GARRIDO: *Contribución al conocimiento de la Geología cantábrica, etc.* «Bol. del Instituto Geológico y Minero de España», tomo LVIII, 18.º de la 3.ª serie, 1945.
2. RÍOS (I. M.): *Diapirismo.* «Bol. del Instituto Geológico y Minero de España», tomo IX, 20.º de la 3.ª serie, 1948.
3. ADÁN DE YARZA (R.): *Descripción física y geológica de la provincia de Vizcaya.* «Memorias de la Comisión del Mapa Geológico», 1892.
4. LOTZE (F.): *Steinsalz und Kalisalze.* «Lagerstätten der Nichterze», III, 1. Grebrüder Boratraeger. Berlín, 1938, y otras.
5. SELZER (G.): *Geología de las sierras sur-pirenaicas del Alto Aragón.* «Publicaciones extranjeras sobre Geología de España», vol. IV, XX, 1948. Edición original en alemán de 1934.
6. KARRENBERG (H.): *La evolución postvariscica de la cordillera cántabro-astúrica.* «Publicaciones extranjeras sobre Geología de España», vol. III, X, 1946. Edición original en alemán de 1934.
7. ALMELA, RÍOS y GARRIDO: *Resolución práctica de las operaciones auxiliares en los trabajos geológicos.* «Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural», tomo XLI, 1943.
8. LLOPIS LLADÓ (N.): *Sobre la estructura de Navarra y los enlaces occidentales del Pirineo.* Miscelánea Almera. «Publ. de la Diputación Provincial de Barcelona», 1945.

9. STILLE (H.): *Sobre los enlaces de las cadenas de montañas del Mediterráneo occidental.* «Publicaciones alemanas sobre Geología de España», vols. I, II, 1942. Edición original en alemán de 1927.
10. Mapa Geológico de España a escala 1:1.000.000. Instituto Geológico y Minero de España, 1936.
11. CIRY (R.): *Etude Géologique d'une partie des provinces de Burgos, Palencia, León et Santander.* Toulouse, 1940.
12. SANZ (R.): *El petróleo.* «Mem. del Instituto Geológico y Minero de España», 1948.

**DATOS PALEOICNOLOGICOS**

POR

**JOAQUIN GOMEZ DE LLARENA**

**Catedrático del Instituto «Peñaflorida» San Sebastián**

JOAQUIN GOMEZ DE LLARENA

Catedrático del Instituto «Peñaflorida» San Sebastián

## DATOS PALEOICNOLÓGICOS

En trabajos anteriores (4, 5) he señalado el variado interés que tienen las pistas fósiles, lo mismo que cualquier huella de origen orgánico o inorgánico conservada en los terrenos, como contribución al reconocimiento estratigráfico, tectónico, paleogeográfico y genético de los terrenos que las contienen. Muchos de estos fósiles enigmáticos, puestos por los paleontólogos en el grupo de los «Incertae sedis», «Jeroglíficos» o «Problemáticos», se interpretan ahora como el rastro dejado por determinados animales o como el producto de su actividad orgánica. Otros, considerados hasta ahora como impresiones del cuerpo de seres animales o vegetales, quedan reducidos a impresiones de origen inorgánico. El detenido análisis de alguna de estas pistas ofrece resultados importantes para la Paleobiología de organismos aún poco conocidos, como, por ejemplo, ocurre con las ingeniosas deducciones obtenidas del examen de las pistas llamadas *Chirotherium*, que ayudan a la reconstrucción teórica de este ser todavía problemático; o con el examen de la *Scolicia*, pista creada por un gastrópodo afín a *Bullia* (1). La «Paleoicnología» (del griego ichnos = pista, rastro) dispone ya de un considerable material de estudio. La obra de

Abel (1) constituye una síntesis de los conocimientos adquiridos en este dominio. Numerosos autores (Clarke, Fuchs, Richter, etc.) se han ocupado con gran amplitud del problema de las pistas. Una nutrida nomenclatura facilita su identificación. Pero la interpretación de muchas de ellas deja todavía un amplio margen de discusión y de continuo aparecen otras que merecen ser anotadas.

La finalidad de mi nota de 1946 (5) era la rectificación de las interpretaciones dadas hasta entonces a diversas pistas, teniendo en cuenta los progresos hechos en esta rama de la Paleontología, y fijándome, sobre todo, en la monografía de Azpeitia (2), dedicada a las contenidas en el flysch cretácico-numulítico de Guipúzcoa. A continuación añadía otras pistas nuevas por mí reconocidas en esta región.

En la presente nota apporto nuevas observaciones recogidas en distintos puntos de la Península Ibérica, y asimismo en diversos horizontes geológicos, pero siempre dentro de la facies flysch, que, como ya decía en 1946, es la más adecuada para contener las pistas.

El valor estratigráfico de las pistas es variable de uno a otro caso, y de aquí que su utilidad en la clasificación de los niveles en donde se encuentran sea, por lo general, dudosa.

Es cierto que existen pistas que parecen definitivamente localizadas en determinadas series de tipo flysch, como sucede con *Cruziana* de los terrenos paleozoicos, atribuida, en general, al paso de los trilobites; o bien con *Palaeodictyon*, encontrado hasta ahora sólo en el flysch senonense-numulítico. Sin embargo, a medida que se van hallando las pistas en distintos niveles, su valor estratigráfico se reduce, quedando reservada su especial importancia a señalar esta facies, caracterizada por la alternancia de capas duras y blandas pro-

pías del flysch, que lo mismo se encuentra en los terrenos más bajos, como el cámbrico, que en los más altos del terciario marino. *Tomaculum*, hasta ahora hallado en el ordovícico de Bohemia, Turingia, Renania, Inglaterra y Oeste de Francia, lo he encontrado en el paleoceno de la isla de Santa Clara (San Sebastián), si bien en una forma afin, *Tubotomaculum*, según una determinación más precisa hecha por R. Richter (10) de fósiles semejantes hallados en el eoceno de Rumania. *Dictyodora*, que, según Abel (1), sólo se había reconocido en el carbonífero inferior y en el flysch cretácico, la he visto en el liásico de Calatorao (Zaragoza). Lombard (7), dándole el nombre de *Zoophycos* (*Cancellophycus*), encuentra un fósil semejante en el dogger de los Prealpes Medios de la Alta Saboya (Francia).

Pero dentro de esta amplitud vertical, en algunos casos son de manifiesta utilidad las pistas o residuos orgánicos, como sucede con *Tomaculum*, que Peneau (9) emplea para deslindar horizontes de idéntica constitución en la cuenca sinclinal ordovícica de Angers (Anjou, Francia). El horizonte *b* de Llandeilo está constituido por pizarras en las cuales unas veces se encuentra una fauna clásica de trilobites (*Calymene Tristani* Brg., *Ilacnus giganteus* Burm., etc.), y otras veces falta, en tanto que *Tomaculum*, más frecuente que estos crustáceos, se encuentra distribuido en un área tan extensa que Peneau ha podido separar terrenos de idéntica facies litológica en una longitud de más de 100 kilómetros.

Exponemos a continuación un breve esquema de las pistas que estimamos de interés consignar:

1. *Fraena* (?), en la cara inferior de la arenisca roja devónica de La Vid (León) (fig. 1). Esta pista es ya muy conocida de distintos pisos del paleozoico. Si aquí la represen-



tamos es para señalar su afinidad con otras de épocas posteriores que se suponen trazadas por crustáceos del grupo de los anfipodos. Abel (1) describe estos relieves, que en los sitios donde se encuentran en Wurtemberg son llamados «trenzas» por el vulgo, y los considera producidos por el paso de un ser semejante al crustáceo *Corophium*. La huella dejada por el actual *Corophium longicorne* sobre una masa de yeso blando que luego se consolida, muestra, en efecto, una sorprendente semejanza con las «trenzas fósiles» del liás del Sur de Alemania y del terciario inferior de Austria. Hasta ahora es dudosa la existencia en el paleozoico de seres que puedan referirse a este género. No obstante, lo más verosímil es que la trenza haya sido hecha por un crustáceo afin a los anfipodos.

En la misma placa de la figura 1, si bien no distinguibles en el grabado, se encuentran huellas vermiformes referibles al paso del gusano *Polydora*.

2. *Dictyodora* (fig. 2). Esta pista, a la que provisionalmente doy el nombre de *Dictyodora*, por ajustarse la descripción que Abel hace de ella a las que yo he hallado en España, se encuentra en niveles muy diversos. Abel y otros autores la señalan en el paleozoico, sobre todo en el carbonífero inferior de Turingia, Austria, etc., y asimismo en el cretácico superior de Silesia, región vienesa, etc.

Por mi parte la he hallado en tres puntos y niveles diferentes. En Calatorao (Zaragoza), en los alrededores de la estación del ferrocarril, aflora el liásico y jurásico en las trincheras del lado de Epila, soportando la base del terciario continental que allí comienza con una fuerte brecha resultante de su destrucción, la cual, unida por un cemento calizo, se usa en construcción con el nombre de «jaspe», sobre todo

en el Pilar de Zaragoza. Las calizas jurásicas fétidas grises, alternantes con otras margosas, contienen bien definidas las dictyodoras. En Zumaya (Guipúzcoa), en la playa de Achuri, el flysch maestrichtiense de tipo «scaglia» con *Pachydiscus* e *Inoceramus*, las muestra bien definidas en capas que no se hallan muy distantes de su techo estratigráfico, constituido por las calizas rosas danenses de la playa de San Telmo. En Torla (Huesca), en el «Puente de los Navarros», no lejos de la entrada al Valle de Ordesa, la he visto en el flysch numulítico. Según me comunican verbalmente, J. Mendizábal y M. Ruiz de Gaona señalan la presencia de numerosos ejemplares de *Dictyodora* en Las Motas de Erandio (Vizcaya), en el mismo nivel estratigráfico de Zumaya.

*Dictyodora* se encuentra todavía muy lejos de su clasificación definitiva. Es una de las pistas que más nombres recibe y más diversas atribuciones tiene. Si aquí aceptamos su nombre es porque la descripción que de ella hace Abel es la que más se ajusta a nuestros ejemplares. Ha sido considerada como alga: *Dictyophytum*, *Palaeochorda*, *Taonurus*; como cicadácea o cordaital: *Noeggerathia*; como pterópodo: *Conularia*; como gusano anélido: *Crossopodia*, *Nemertites*; como pista de gusanos o crustáceos; como fenómeno mecánico del tipo de los conos encapuchados («cone in cone») o afin a los estilolitos; por último, como fenómeno resultante de la explosión de una burbuja de gas que estalla en medio de un fango arcilloso fino.

Rompiendo la roca que la contiene se ve que la dictyodora guarda siempre una posición constante respecto a las caras de sedimentación del estrato. Se presenta en forma de cucurucho de amplias vueltas y cuyo eje de giro es vertical, normal a los planos de estratificación. Este hecho, junto con

otros más distinguibles en el flysch, es de importancia en el reconocimiento tectónico de los terrenos de tal facies, a menudo fuertemente dislocados. Alrededor de este eje vertical se pueden seguir las vueltas que va desarrollando el cucurucho, de arriba abajo, de tal modo que la punta mira siempre hacia la cara superior y las vueltas más anchas hacia la inferior del estrato que contiene la *Dictyodora*. La superficie de ésta aparece alabeada y cubierta de una fina sedosidad, retorcida y convergente hacia el eje en el sentido de las agujas del reloj, según se ve en la figura 2. En los ejemplares de Abel parece reconocerse el sentido inverso. El eje es hueco, como corresponde al cucurucho.

A pesar de las diferencias que se observan entre los ejemplares por mí examinados de España y los descritos por Abel de terrenos antiguos de la Europa Central, estimo que la denominación más acertada para los primeros es la de *Dictyodora*. Abel se decide por suponer que esta pista ha debido ser creada por un animal marino habitante del fango, acaso un gusano tubícola que, provisto de una corona de pelos táctiles, hundiera ésta buscando su alimento en el interior de aquél; la sedosidad que en capa delgada recubre la superficie del cucurucho sería el producto de la secreción mucosa expelida por el gusano. Hasta ahora, sin embargo, no se conocen gusanos de este tipo, ya que, por ejemplo, los sabélidos del grupo *Spirograhis*, en los que cabría pensar, tienen sus penachos branquiales espiralados en posición opuesta al cucurucho de la *Dictyodora*.

3. *Cancellophycus* (figs. 3, 4, 5). En la bahía de Loya, situada en la costa de Hendaya, al extremo E. de la Punta de Santa Ana, el cretácico superior está formado por una serie de capas que ha sido objeto de unos magníficos trabajos estra-

tigráficos por parte de J. de Lapparent (publicados de 1918 a 1924). Este malogrado autor encuentra en uno de los tramos, distinguidos, junto con huellas de tallos de fucus, otros fósiles que, siguiendo a Saporta, supone «algas grandes de tallo lobado profundamente y enrollado en hélice», a las que da el nombre de *Cancellophycus*, y más adelante dice: «no hay duda de que estos *Cancellophycus* sean algas» (6).

G. Lucas, en una breve nota aparecida en 1938 (8), se decide por suponer que los *Cancellophycus* del jurásico medio, «atribuidos hasta ahora a las algas son, en realidad, alcionarios afines a los gorgónidos». Siguiendo a Lucas, otro autor, Lombard (7), al deslindar los tramos del jurásico en la zona de su estudio, distingue el «dogger de *Zoophycos* (*Cancellophycus*) de facies profunda y el dogger de *Mytilus*, de facies litoral». En un punto (cantera de la Roca des Suets, valle del Giffre, Alta Saboya francesa), Lombard señala la presencia de «un soberbio ejemplar de *Cancellophycus* sp. ind. de 25 centímetros de longitud por 5-6 de altura», en el que «el pedículo central forma un saliente por encima de la lámina» (7, página 85).

J. Roger (11), en carta de 19 de febrero de 1949, me remite una excelente fotografía de una especie nueva de *Cancellophycus* del triásico de la Lorena, y escribe: «Je pense-rais volontiers que des «aspects» de *Cancellophycus* peuvent résulter de causes variées organiques ou non. Dans chaque cas particulier une étude macro et microscopique s'avère nécessaire.»

Por mi parte, hago mías las palabras que transcribo de la carta de J. Roger, pero supongo que *Cancellophycus* es una pista más del flysch que aparece de un período geológico a otro tan pronto como la sedimentación toma esta facies espe-

cial. En una rápida excursión hecha en el pasado mes de noviembre a la bahía de Loya, en unión de M. Ruiz de Gaona, he podido examinar los lugares recorridos por J. de Lapparent y recoger fragmentos de *Cancellophycus*. Su afinidad con *Dictyodora* me parece grande, si bien, no habiendo tenido tiempo de reconocer ejemplares completos, encuentro algunas diferencias. *Cancellophycus* aparece más aplastado, con el borde de las lomas bien definido, lo que no ocurre en *Dictyodora*. La superficie de las muestras de *Cancellophycus* por nosotros recogida, está recubierta por una materia negra, irregularmente resuelta en líneas paralelas de grueso desigual, que en modo alguno recuerda una estructura semejante a cualquier organismo colonial, como son los alcionarios, sino que, por el contrario, parece más bien asemejarse a la acumulación de materia, orgánica o inorgánica, que a modo de espuma flotara en la superficie del agua. No deja de ser interesante la comparación de un trozo de la superficie de *Cancellophycus* con la que resulta de la disgregación de una masa de espuma procedente del lavado en las fábricas de papel que se desliza suavemente por el agua (figs. 3 y 5). Un corte vertical de la cubierta de *Cancellophycus* (fig. 4) muestra que la materia negra que la forma se halla dividida en laminillas aplastadas y dobladas. Por debajo de ellas quedan otras dispersas en la masa de la pizarra fina arcillosa que forma la roca.

Es posible que *Cancellophycus* sea una pista creada por un organismo afín al que ha originado *Dictyodora* en unos casos, o al generador de *Taonurus* o *Spongiliomorpha*, en otros. La comparación del ejemplar del triás lorenés con las «esparteñas» (nombre popular con que se conocen *Taonurus* y *Spongiliomorpha* en Alicante) del mioceno marino del li-

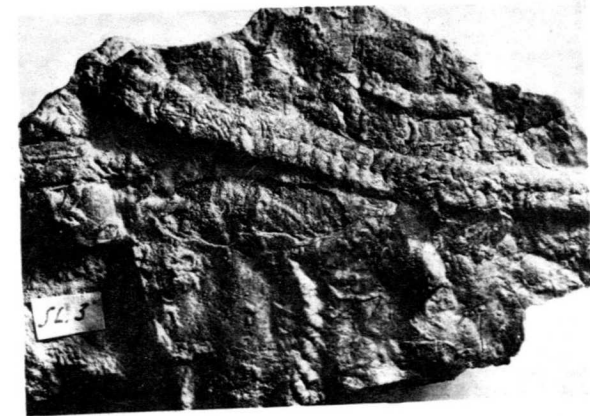


Fig. 1. *Fraena* (?) En la cara inferior de la arenisca roja devónica. La Vid (León). Tamaño natural.

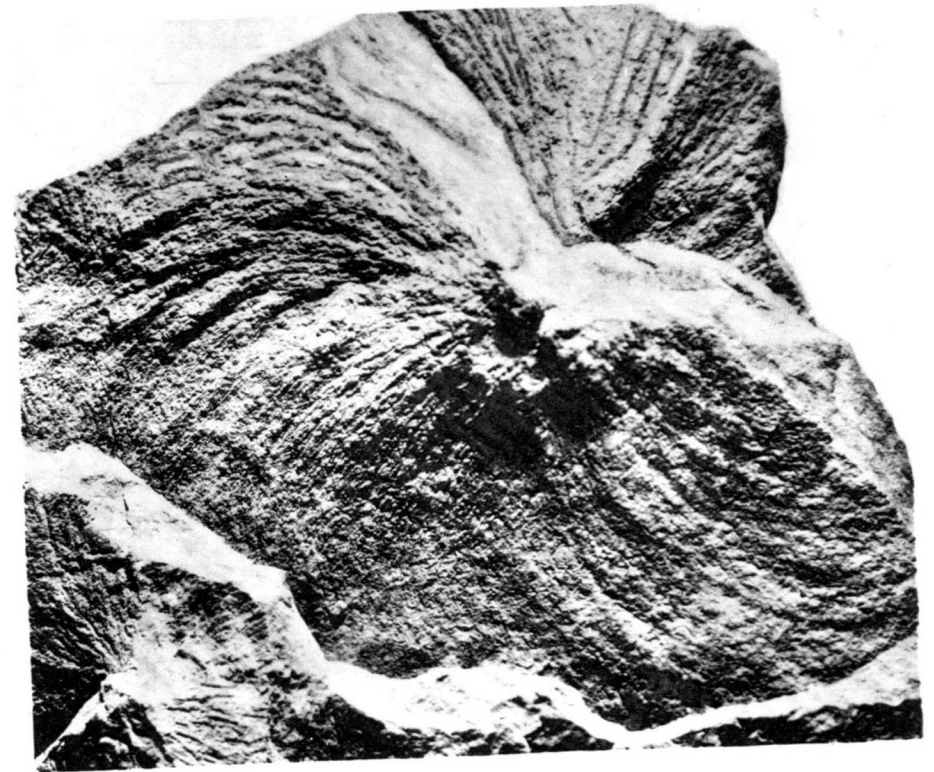


Fig. 2. *Dictyodora* Flysch maestrichtiense. Zumaya (Guipúzcoa). En el ángulo inferior izquierdo de la figura se encuentra otra pequeña *Dictyodora*. Ligeramente aumentada.

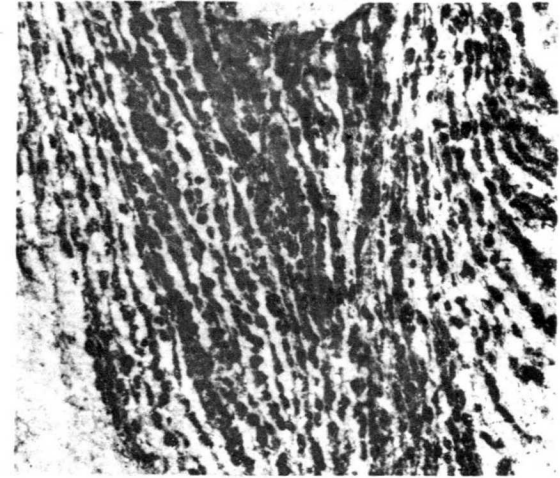


Fig. 3. *Cancellophycus* Cretácico superior.  
Bahía de Loya, Hendaya (Francia). Fotografía de la cara superior  
aumentada cinco veces.



Fig. 4. Corte vertical del *Cancellophycus* de la fig. 3.



toral levantino de España (3, 12), me hace ver que bajo el nombre de *Cancellophycus* se reúnen pistas diferentes.

Los ejemplares reconocidos en el jurásico medio de Calatorao (Zaragoza) coinciden en su aspecto con el de *Dictyodora* más bien que con el de *Taonurus*. Los caracteres litológicos y estratigráficos de este jurásico coinciden mucho con los que señala Lombard (loc. cit.) para su «dogger de Zoophycos». Asociados a esta pista, lo mismo en la Roca de Suets que en Calatorao, se encuentran belemnites y terebratulas. La filiación exacta de este tramo no la he establecido aún. Este asomo de jurásico se halla en relación con las grandes manchas, que luego toman un amplio desarrollo hacia Riecl por el O., y hacia Calatorao y Calatoradico por el E., en donde se reconoce una serie de niveles que comprenden desde el liásico medio hasta el malm, éste con abundantes fósiles (esponjas, braquiópodos, ammonites, belemnites, lamelibranquios). Provisionalmente, podríamos llamar también al jurásico de la estación de Calatorao «dogger de *Dictyodora*», para precisar su facies especial.

4. *Dendrotichnium* (fig. 6). En la arenisca cenomanense de Espinosa de los Monteros (Burgos), en una excursión hecha en el pasado mes de septiembre de 1948, en compañía de M. Ruiz de Gaona y de R. Ciry, éste me presenta una laja de arenisca cenomanense que contiene diversas pistas en relieve en su cara inferior y en hueco en su cara superior. Entre ellas se destaca la que figura en la fot. 6 en su lado derecho. Se ve una pista ramificada, cuya altura es de 10 centímetros, la cual muestra una disposición idéntica a la ya representada en mi trabajo de 1946 (5. núm. 19), hallada en el flysch de inoceramos de Zumaya. Lo mismo que aquélla, la de Espinosa debe de haber sido producida por un gusano

dotado de las propiedades de la homostrofia y de la fobotaxia (ver 5, pág. 38).

No encuentro en las obras consultadas una pista semejante a estas por mí figuradas, por lo que me decido a darles el nombre provisional de *Dendrotichnium* (pista ramificada), para facilitar así su referencia.

Además de la pista de *Dendrotichnium* se observan en la placa de la figura 6 otras rectilíneas referibles al tipo trenza hechas por crustáceos afines a *Corophium*.

5. *Pistas enigmáticas del flysch numulítico de Pamplona* (figuras 7 y 8). En la parte que mira a la ciudad, el cerro de San Cristóbal está constituido por una molasa de color azul en fresco y gris blancuzco cuando lleva algún tiempo al aire; sus bancos muestran una potencia variable de dos o tres centímetros a cerca de dos metros. Entre estos bancos aparecen delgados lechos de margas de apenas un decímetro de espesor. A este flysch molásico sigue otro formado por capas mucho más delgadas que se ocultan bajo la vega del río Arga. El nivel estratigráfico de la molasa es, según M. Ruiz de Gaona, el eoceno superior o el oligoceno inferior, a juzgar por la rica fauna numulítica que contiene, acompañada de miliólidos, briozoos, bivalvos, *Dentalium*. Es curioso ver que las capas ricas en numulites contienen escasos miliólidos, y al revés, que las abundantes en estos últimos apenas muestran numulites. Algunos bancos de molasa contienen nódulos de arcilla endurecida sedimentados al mismo tiempo que los demás elementos de la molasa.

La tosquedad de la molasa y su menor resistencia a la meteorización deben ser causa de que no se conserven tantas pistas como en el material fino del flysch de maciños de la costa guipuzcoana, ya que, como en efecto se ve, la super-

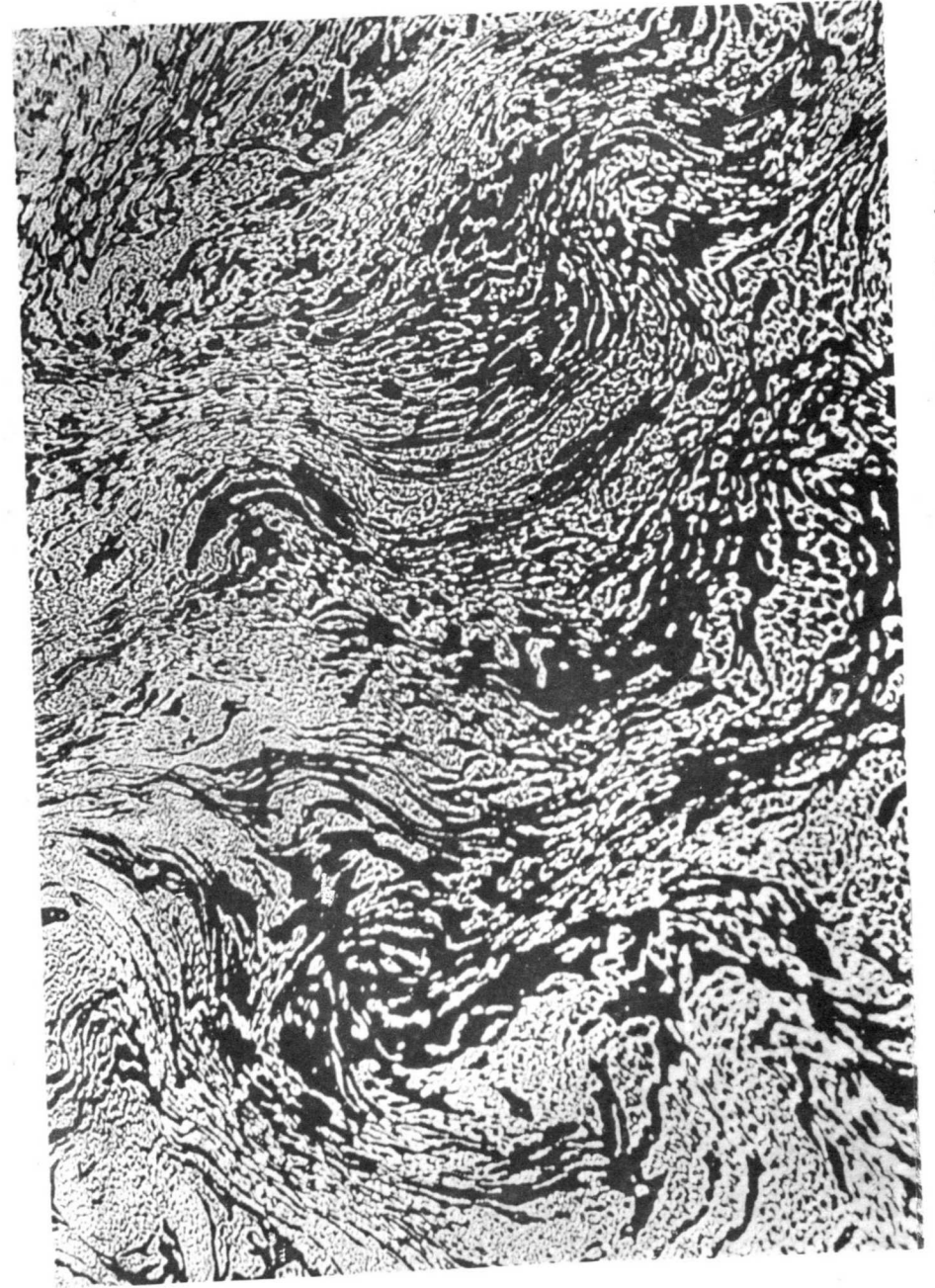


Fig. 5. Figuras producidas por la disgregación de la espuma que procedente del lavado en las fábricas de papel, flota sobre el agua remansada del río Oria. Andoain (Guipúzcoa). Reducida seis veces.



Fig. 6. *Dendrotichnium*.  
Arenisca cenomane. Espinosa de los Monteros  
(Burgos). Reducida a la mitad.

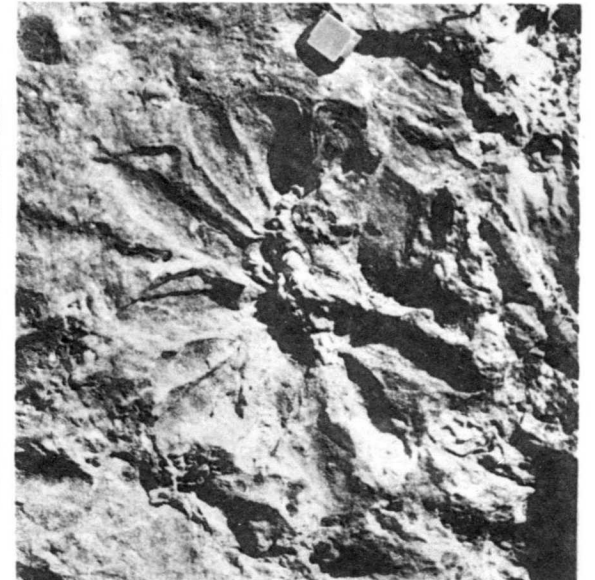


Fig. 7. Pista esteliiforme en la molasa numulítica.  
Pamplona. El cuentahilos indica el tamaño.

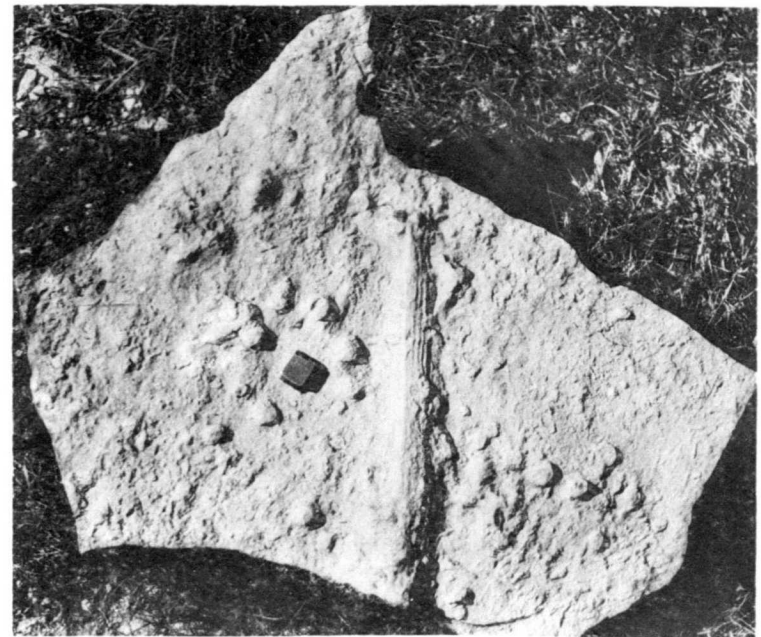


Fig. 8. Pistas de artrópodos (?) en la molasa numulítica.  
Pamplona. El cuentahilos indica el tamaño.



ficie inferior de la molasa que aún está en contacto con la marga muestra a trechos una abundancia idéntica a la del flysch de maciños. Entre las pistas de la molasa predominan las cilíndricas gruesas, a veces ramificadas, que cruzan las capas en todos sentidos, de modo semejante a los «fucoides» de la caliza dapense (5, núm. 16).

En la cara superior de los bancos de molasa y concentrados en distintos puntos se encuentran unos huecos semejantes a la impresión de una hoja ancha y corta, terminada en aguda punta (fig. 7). Estas impresiones, de longitud desigual, comprendida entre 8 y 9 cms., están agrupadas irregularmente en forma de estrella de ocho a diez radios, a veces superpuestas unas a otras. Existe cierta analogía entre estas huellas y otras de tipo estrellado, como las *Lorenzina*, producidas por animales que vivían en agujeros verticales de las playas (crustáceos, moluscos, gusanos), de los cuales salían en busca de alimento, que hallaban pastando la tenue película de materia orgánica extendida por el suelo. No podemos, por ahora, llevar más adelante el examen de estas pistas que quedan entre las enigmáticas.

En la figura 8 se representa otra pista de la misma zona de San Cristóbal, pero en relieve, hallada en la cara inferior de los bancos de molasa. En el medio de la foto aparece una pista alargada tipo fucoide, probable contramolde de la impresión producida por el paso de un gusano. A uno y otro lado de ella se ven protuberancias a modo de botones de contorno poligonal que recuerdan los representados en la figura 8 de nuestra nota de 1946, hecha de un ejemplar hallado en la boca de la ría de Pasajes. En esta última figura se veían dos filas paralelas de botones alternos. Su comparación con otras semejantes de Alemania nos llevaba a suponer su



afinidad con las llamadas *Ichnium Strubi* del pérmico inferior de Nierstein, que, según Schmidtgen, han debido de ser producidas por el paso de un artrópodo sobre una playa de fango blando. Igual interpretación damos a estas pistas de Pamplona, aunque el reducido número de ellas no deja reconocer la disposición alternante tan bien desarrollada en la pista de Pasajes.

## RESUMEN

La presente nota es una nueva aportación al reconocimiento de las pistas de la facies flysch, propia de cada uno de los sistemas geológicos distinguidos en la serie sedimentaria desde el paleozoico inferior hasta el neozoico superior.

*Fraena*, relieve en forma de trenza en la cara inferior de los estratos duros del flysch paleozoico, es una pista afín a la dejada por el crustáceo anfípodo *Corophium* actual.

*Dictyodora* es una pista cuya interpretación está aún muy lejos de quedar bien establecida. Existe gran confusión, tanto en su sinonimia como en las hipótesis respecto a su génesis. Constituye un cucurucho que, con el eje vertical y la punta hacia arriba, atraviesa el estrato en que se encuentra. Este dato es de gran valor para el reconocimiento tectónico de las capas que la contienen.

*Cancellophycus* es semejante a *Dictyodora*, en algunos casos parece referirse a ésta, en otros a *Taonurus* y *Spongiliomorpha*.

*Dendrotichnium* es una pista ramificada, a la que ahora designo bajo este nombre, pero que había ya señalado en 1946 en el flysch de *Inoceramus* de Zumaya (Guipúzcoa); en 1948

la reconozco en el cenomanense de Espinosa de los Monteros (Burgos).

Por último, señalo en la molasa eocena u oligocena de San Cristóbal (Pamplona) unas pistas de aspecto parecido a *Lorensinia* y otras a *Ichnium Strubi*.

San Sebastián, marzo de 1949.

## BIBLIOGRAFIA

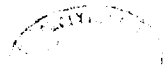
1. ABEL (O.): «Vorzeitliche Lebensspuren». Jena, 1935.
2. AZPEITIA (F.): *Datos para el estudio paleontológico del flysch de la costa cantábrica y de algunos otros puntos de España*. «Bol. Inst. Geol. y Min. de España». Madrid, 1932.
3. BOSCA (E.): *A propósito del «Taonurus ultimus» y el «Spongiliomorpha iberica» Saporta*. «Bol. Soc. Españ. Hist. Nat.». XVII, 1917.
4. GÓMEZ DE LLARENA (J.): *Un instituto de Geología y Paleontología marinas en Wilhelmshaven*. «Reseñas y Conferencias. Soc. Esp. de Hist. Nat.». Madrid, 1930.
5. GÓMEZ DE LLARENA (J.): *Revisión de algunos datos paleontológicos del flysch cretáceo y numulítico de Guipúzcoa*. Notas y Comunic. «Inst. Geol. y Min. de España», núm. 15. Madrid, 1946.
6. LAPPARENT (J.): *Etude lithologique des terrains crétacés de la région d'Hendaye*. «Mem. Carte Geol. détaill. de la France». París, 1918.
7. LOMBARD (A.): *Les Prealpes medianes entre Le Risse et Somman (Vallée du Giffre, Haute Savoie)*. Basilea, 1940.
8. LUCAS (G.): *Les «Cancellophycus» du Jurassique sont des Alcyonaires*. «C. R. Acad. Sc.». París, 1938.
9. PÉNEAU (J.): *Anwesenheit von «Tomaculum problematicum» im Ordoviciun West-Frankreichs*. Frankfurt am Main, 1941.
10. RICHTER (R.): *«Tubotomaculum» aus dem Eozän von Rumänien*. (En publicación.)
11. ROGER (J.): (Carta de 19-2-1949).
12. VILANOVA (J.): *Sobre la existencia de «Taonurus» en el Terciario de Alcoy*. «Act. Soc. Españ. Hist. Nat.». 1880.

**EL BERILIO. SU IMPORTANCIA,  
MINERALOGIA Y METALOGENIA**

POR

**JOSE MESEGUER PARDO**

**Ingeniero de Minas**



JOSÉ MESEGUER PARDO

Ingeniero de Minas

## EL BERILIO. SU IMPORTANCIA, MINERALOGIA Y METALOGENIA

Uno de los metales ligeros que más decididamente camina hacia la utilización industrial en cierta escala es, sin discusión, el berilio.

Fue hallado este elemento, en estado de óxido, en 1798, por L. N. Vauquelin, en la esmeralda de Limoges, y en el descubrimiento tuvo buena parte la cristalografía geométrica, hasta tal punto que, sin esa rama de la ciencia, se habría demorado mucho tiempo.

Tras los antiguos análisis del berilo, realizados por Bindheim y M. H. Klaproth, se consideró a dicha especie como un silicato de calcio distinto de la esmeralda, mas al advertir R. J. Haüy las analogías e incluso identidad casi perfecta entre los caracteres cristalográficos de ambos minerales, instó a Vauquelin a repetir los análisis. De esta manera pudo llegar el último a separar del berilo una *tierra* análoga a la alúmina, aunque con la particularidad de que algunas de las sales poseían cierto dulzor, y de ahí que los editores de los «*Annales de Chimie*» propusieran para aquélla el nombre de *glucina* (del griego *glucus*, dulce), alusivo a la propiedad señalada.

Diez años después del descubrimiento de Vauquelin, intentó sir H. Davy reducir la glucina por el potasio, y obtuvo una masa metálica semimaleable y más blanca que el hierro; sin embargo, hasta 1828 no fué aislado en realidad el cuerpo simple, como resultado de los trabajos de F. Wöhler y A. A. de Bussy. Recibió el nombre de *glucinio*, que ha prevalecido en Francia, aun cuando en la mayoría de los países es más corriente el de *berilio*, derivado del mineral donde se encontró y que constituye la principal fuente.

Desde el punto de vista químico, el metal se comporta como intermedio entre el aluminio y el magnesio, circunstancia que tuvo perplejos a los químicos respecto a la fórmula a asignar a la berilia, pero la determinación de la densidad del vapor del cloruro, definió el problema tal y como había sido previsto por D. I. Mendeleiev, fundador del sistema periódico.

Posee el berilio aspecto cristalino, matiz gris de acero y es susceptible de adquirir un bello pulimento; el peso específico es muy reducido (1,84), menor que el del aluminio y próximo al del magnesio, y el módulo de elasticidad, casi de 30.000 kg/mm<sup>2</sup>, supera al del acero; ofrece gran resistencia a los agentes mecánicos, y el punto de fusión es elevado (1.278°), mas como se sublima al calentarse, sólo se le puede fundir bajo cierta presión.

La gran afinidad con el oxígeno, hace que el berilio se cubra rápidamente al aire de una fina película que detiene el avance de la oxidación. En presencia del nitrógeno puro a la temperatura de 500°, se combina con él para producir nitruro y, por otro lado, reduce en caliente los silicatos, fosfatos, boratos, la magnesia y la alúmina.

Aún en proporciones pequeñísimas, las impurezas modi-

fican considerablemente las propiedades físicas y mecánicas del berilio, de suerte que suele aparecer con dureza superior a la real y, sobre todo, con una fragilidad que dificulta la forja y laminación.

Hoy día, la producción de berilio es capaz de garantizar al metal una pureza superior a 96 por 100, que puede elevarse a 99,44. El berilio comercial de 99 por 100 tiene dureza comprendida entre 6 y 7, así que raya al vidrio, y en el de 99,5 por 100, según C. B. Sawywr y B. Kjellgrenn, la velocidad del sonido alcanza 12.000 m/seg.; la conductividad eléctrica es el 38,9 por 100 de la del cobre, y el poder reflector para la luz, varía de 52 a 55 por 100. Esta última cualidad, que no cambia con el tiempo en las láminas pulimentadas, le hace recomendable para la fabricación de espejos especiales.

Para beneficiar la mena de berilio, es preciso transformar a éste en productos fusibles que se someten luego a la electrolisis en el horno eléctrico. Dichas sales fusibles se logran por métodos diversos; uno de ellos consiste en atacar el berilio por el fluosilicato sódico a 650-700° y separar por disolución un producto que se trata por la cal para obtener un precipitado constituido por una mezcla de hidróxido berílico y fluoruro de calcio; un ulterior ataque por el ácido fluorhídrico consiente aislar el fluoruro de berilio, y éste, después de seco y transformado en oxifluoruro, se lleva al horno eléctrico.

Asimismo, el berilio finamente molido, puede fundirse con carbonato potásico; el producto se disuelve en ácido sulfúrico, evaporando a sequedad para insolubilizar la sílice; se trata por el agua, filtra y, mediante concentración y enfriamiento progresivo, se provoca la formación de cristales de alumbre que se separan de la solución madre para eliminar

la mayor parte del aluminio del mineral. Por medio del bicarbonato sódico se precipita después el aluminio restante, se agrega ácido clorhídrico, lleva a la ebullición y se trata por el amoníaco, que precipita el berilio en estado de hidróxido. Este último debe purificarse disolviéndolo en carbonato amónico, que deja como residuo los compuestos de aluminio y, todavía para mayor pureza, se preconiza la transformación del hidrato en acetato que se hace cristalizar en presencia del cloroformo.

Burgess ha recomendado la conversión en carburos del berilio, aluminio, silicio e impurezas del berilo, en el horno eléctrico de arco. Dichos carburos se someten, en caliente, a una corriente de ácido clorhídrico seco, y así se forman cloruros que se volatilizan. El de berilio viene a depositarse en un condensador que se mantiene a 375°, y los demás lo efectúan en otros semejantes, enfriados por aire o agua. De este modo se logra un cloruro de gran pureza.

Matignon y Pietre obtienen también un cloruro de berilio muy puro, partiendo de una mezcla íntima de berilio y carbón, a la que se agrega tetracloruro de carbono seco, en el crisol del horno eléctrico en que se opera.

Del cloruro de berilio se logra el metal mediante reducción por el potasio o el sodio, pero los procedimientos son onerosos y rinden un producto de pureza insuficiente. Vale más acudir a la electrolisis de una sal fundida, realizándola a menor temperatura de la necesaria para la reducción del óxido por el carbono, pues de verificarse aquélla, se forma también carburo de berilio que se disuelve en el metal y lo purifica.

Los hornos a emplear en la electrolisis consisten esencialmente en una cuba de grafito que sirve de cátodo a la vez

que de depósito, y en cambio hacen de ánodos grandes tubos de hierro, enfriados por corriente de agua, que se sumergen en el baño.

Las mezclas a electrolizar se preparan a base de fluoruro u oxifluoruro de berilio, o bien haciendo uso del cloruro. Las primeras exigen una purificación laboriosa, han de electrolizarse a 1.300 ÷ 1.350°, y rinden gruesos cristales de 98 ÷ 99 por 100 de pureza; el cloruro, en cambio, es de depuración relativamente fácil y practicable en trabajo continuo, se electroliza a 750°, es menos corrosivo y el metal cuenta con mayor pureza (99 ÷ 99,5 por 100), pero se obtiene en forma de pajuelas que es preciso fundir de nuevo antes de librarlas al comercio.

Modernamente se acude, para obtener el berilio, al procedimiento de Lebeau, consistente en la electrolisis del fluoruro doble de berilio y sodio o potasio, al que se adiciona un exceso de fluoruro de berilio; se emplea como cátodo un crisol de níquel, y de ánodo hace una barra de grafito: el electrolito funde a 350°, y el metal viene a depositarse en cristales sobre las paredes del crisol, de las que se separa por lavados sucesivos con agua, seguidos de una desecación en el vacío.

El elemento más importante del coste del beneficio del berilio es el ataque del mineral y la preparación de los compuestos que han de electrolizarse. La irregular distribución de la mena en la roca madre, obliga a quebrantar ésta antes del estrío a mano, y de cada 100 toneladas sólo llegan a obtenerse 50 kilogramos de materia aprovechable. Como la citada cantidad sólo rinde unos 2,5 kilogramos de metal, apenas si se cubren gastos en muchas ocasiones.

Para fabricar las aleaciones de berilio *ricas*, se emplea un

crisol que contiene el oxifluoruro fundido y sobre él se deja caer el metal a alear, en forma de polvo; el recipiente hace de ánodo y en él se deposita la aleación por efecto de la electrolisis. Las aleaciones de *pequeño contenido* se obtienen también en el mismo crisol, pero entonces no se añade metal ninguno, y el que ha de alearse se emplea como cátodo. También pueden añadirse lingotes de berilio al metal en fusión, bajo una capa protectora, método no aplicable a las aleaciones ricas, a causa de las oxidaciones que se producen.

A causa de las dificultades de preparación, debidas principalmente al elevado punto de fusión y a la tendencia a combinarse con el carbono y el oxígeno, apenas si despertó el berilio, durante casi un siglo, el interés de técnicos y metalúrgicos. Era, puede decirse, una curiosidad de laboratorio; pero después de conocerse bien las propiedades del aluminio y el magnesio, comenzó a prestársele atención en vista de las cualidades de diferentes aleaciones.

Respecto al aluminio, con el que se mezcla en todas proporciones, disminuye la densidad y el coeficiente de dilatación eleva el punto de fusión y aumenta la carga de ruptura y la resistencia a la corrosión. El diagrama berilio-aluminio, presenta un campo de solución sólida del segundo en el primero sobre el 8 por 100 de aluminio, con el máximo de solubilidad a 644°. Al otro extremo del diagrama se observa un eutéctico que contiene 1,4 por 100 de berilio. Ciertas aleaciones de aluminio con 15 ÷ 50 por 100 de berilio y 5 ÷ 20 por 100 de plata, poseen gran resistencia a la tracción a temperaturas elevadas, y esta propiedad las hace recomendables para los émbolos de los motores de automóviles y aeroplanos.

La adición al magnesio de 0,005 ÷ 0,5 por 100 de berilio,

le hace muy refractario a la corrosión, y otras ligas con 1 por 100 poseen dureza semejante a la del hierro, lo que las hace útiles en la construcción aeronáutica; sin embargo, la preparación no es fácil, porque el berilio sólido es insoluble en el magnesio fundido, y éste se volatiliza antes de que el primero llegue a licuarse.

Las aleaciones con el hierro poseen, en ausencia del carbono, las mismas cualidades de los aceros al silicio que tanto se emplean en la industria eléctrica; la de 2 por 100 de berilio puede hacerse tres veces más duras que el hierro puro, y la de 4 por 100, es capaz de adquirir un temple excelente. Tales ventajas técnicas no bastan, sin embargo, para compensar el precio, y así se hace preciso acudir a la adición de níquel, que procura análoga dureza con una disminución del consumo de berilio a la cuarta parte.

El acero con 12 por 100 de cromo, 5 de níquel y 1 de berilio, se endurece tanto como los rápidos, y el de 36 por 100 de níquel y 1 de berilio, rinde un *Invar* inalterable, ocho veces más resistentes que el duraluminio y capaz de laminarse en hojas finas.

Otras ligas complejas, que se conocen con el nombre de *Contracid*, y en cuya constitución interviene el molibdeno, con el níquel y el cromo, por adición de cortas cantidades de berilio adquieren gran resistencia a la corrosión y la propiedad excepcional de conservar la dureza inicial entre límites muy amplios de temperatura.

En América del Norte viene prestándose atención, desde hace años, a las aleaciones de berilio y cobre, las cuales procuran bronces de excelente calidad, y que con un sencillo tratamiento térmico adquieren gran resistencia a la tracción, mayor si cabe que la del acero ordinario; además son resis-

tentes a la corrosión, como los bronce de estaño y aluminio, se moldean con facilidad y se trabajan bien en frío, de donde resultan indispensables para muchos productos de buena conductividad eléctrica y calorífica, que deban, además, ser dúctiles, duros y resistentes a la fatiga.

La aleación de cobre con 1,3 por 100 de berilio posee caracteres similares a los del oro, y esto hace emplearla particularmente en bisutería. Sin embargo, los bronce más interesantes son los que contienen 2,25 ÷ 2,50 por 100, los cuales, después de templados y envejecidos, adquieren mayor resistencia mecánica que la de los mejores aceros de resortes y el bronce fosforoso. De aquí el uso, cada vez mayor, en la fabricación de muelles helicoidales de todas clases, cojinetes para los cigüeñales de los motores de aviación, resortes de los trenes de aterrizaje, anillos colectores de los motores eléctricos de gran velocidad, contactos múltiples, herramientas, e incluso instrumentos quirúrgicos en que es indispensable la inoxidableidad.

Los referidos bronce resultan todavía caros a causa del precio del berilio, pues aunque el contenido en peso parezca pequeño, no llega a serlo en realidad, si se tiene en cuenta la exigua densidad de aquel, que eleva a casi 12 por 100 la proporción en volumen. Este inconveniente se atenúa, con todo, en gran medida, por la adición de un tercer elemento, como el silicio, plata, titanio, etc., que permiten aminorar la proporción de berilio. Así, la General Electric C.º, de Shenectady, agrega una pequeña cantidad de cobalto que, a más de reducir a 0,1 por 100 la proporción de berilio, con el consiguiente mejoramiento del precio, acrece la conductibilidad eléctrica.

En Nueva York se fundó, para fabricar el cuproberilio, la

Sociedad Berillium Products Corporation, que lanzó al mercado una aleación de 12,5 por 100, de la que obtienen con facilidad otras de menor contenido. Estas últimas se preparan por la American Brass C.º y la Riverside Metal C.º, de los Estados Unidos, ambas productoras de bronce con 1,5 ÷ 2,5 por 100 de berilio, que confirman las excepcionales condiciones de resistencia, tanto química como mecánica.

En nuestra patria, la Sociedad Española de Construcciones Electro-Mecánicas, de Córdoba, tiene en estudio la fabricación del cuproberilio.

Aparte de las expresadas aleaciones, se emplea el berilio puro en las ventanas de salida de los tubos de rayos X, pues su transparencia a los mismos es 17 veces mayor que la del aluminio. Y en estos últimos tiempos, encuentra gran aplicación para la producción de neutrones, que tanto se usan en las transformaciones atómicas. La acción de las partículas  $\alpha$  emitidas por la emanación del radio o radón, convierte al berilio en carbono con liberación de 1.000 neutrones rápidos; y el bombardeo, asimismo, con deutones, en un tubo de descarga de 1.000.000 de voltios, le transforma en boro, con abandono de neutrones rápidos; reacción, esta última, que permite vislumbrar la fabricación casi industrial, con mucho mayor rendimiento que el que el radón procura.

No falta la demanda de sales de berilio para la industria de los manguitos incandescentes, en la que se emplea como elemento de refuerzo. Algunos fabricantes aplican cinco gramos de nitrato de berilio por kilogramo de idéntica sal de torio, y otros reducen a dos gramos la cantidad del primero. También el óxido constituye una base importante para la fabricación de lámparas fluorescentes, y hasta un kilogramo para 8.000 lámparas.

Se usa asimismo la berilia en los electrodos de las válvulas electrónicas, en algunas mezclas abrasivas y en la preparación de esmaltes dentarios. Por fin, se han obtenido con ella buenos resultados en la eterificación de los ácidos alifáticos con los alcoholes, al hacer pasar los vapores de dichos compuestos orgánicos, sobre el citado óxido a 310°.

La aplicación del berilio a la industria cerámica, es anterior a 1920 y, sin embargo, no abundan las investigaciones con miras a la utilización. Según las realizadas por Fessler y Navratiel, la berilia favorece la formación de la *mullita* ( $2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ ), y así produce un aumento de la resistencia mecánica, superior al que originan los demás óxidos del grupo. También acrece la resistencia eléctrica de la porcelana y procura a ésta gran conductividad térmica.

Por último, en los esmaltes, la sustitución del feldespato por el berilio, a la vez que aumenta la dureza, desarrolla, a elevada temperatura, los verdes de cromo.

Antes de 1914 apenas si se obtenían en el mundo, cada año, algunos centenares de gramos de berilio. En 1926, merced al impulso de un grupo neoyorquino, se produjeron ya algunos kilogramos, que bastaron a satisfacer las necesidades de los laboratorios de investigación, y, al año siguiente, la Sociedad Siemens fabricaba 100 a 120 gramos diarios, es decir, 30 a 35 kilogramos anuales. Otro año después, los Estados Unidos elevaron la producción a 1.200 kilogramos, y en los últimos tiempos, la mundial ha rebasado poco la cifra de 180 toneladas.

La producción de mena ha sido la siguiente:

Años		
1937.....	375	toneladas
1938....	1.023	—
1939.....	676	—
1940.....	2.113	—
1941.....	4.090	—
1942.....	3.236	—
1943.....	4.095	—
1944.....	2.898	—

De las cotizaciones de esta mena no existen muchas referencias por hallarse la producción muy repartida. Cabe citar las de 1944 en los Estados Unidos, que han oscilado entre 12 y 14,5 dólares por unidad de berilia en short ton, de 907,18 kilogramos.

El precio de metal ha sufrido diversas variaciones. En 1926 se vendió el kilogramo a 450 dólares, pero pronto bajó a 110, para elevarse después a 400 dólares. La última cotización que conocemos es la de 510 dólares el kilogramo, en 1947.

Los indicados precios hacen ver la carestía del berilio, que limita bastante el consumo, pero parece innegable que las cualidades que confiere a las principales aleaciones, compensan en cierta manera el elevado coste. Se afirma que algunos constructores americanos de aviones valoran en 90 dólares el sacrificio de aligerar en un kilogramo el peso muerto de los aviones, y aún cabe sospechar los esfuerzos de los almirantazgos por conseguir un metal que permita corazas de la misma resistencia, aunque mucho más ligeras que las actuales, a fin de lograr mayor velocidad en las unidades de combate.



Innecesario parece, por otro lado, señalar las demandas de berilio para la fabricación industrial de neutrones destinados a las desintegraciones atómicas.

Se ha creído, durante bastante tiempo, que el berilio escaseaba en la Naturaleza y que era, por consiguiente, lo que se llama un cuerpo raro. Después se ha visto lo equivocado de este aserto; según H. Schneiderhoen, la proporción en la corteza terrestre asciende a  $5,10^{-4}$ , de modo que es comparable al estaño y arsénico, y un poco menos abundante que el plomo y el cinc. Actualmente ha dejado de figurar entre los metales escasos, lo mismo que el molibdeno; ahora bien, sólo en ocasiones muy particulares llega a determinar concentraciones industrialmente beneficiables.

En la Naturaleza forma parte de diversas especies minerales, cuyos caracteres más destacados y principales lugares de yacimiento se reseñan a continuación:

#### B E R I L I O

Silicato aluminico berílico, de fórmula:  $\text{Si}^6\text{O}^{18}\text{Al}^2\text{Be}^3$ . Contiene 11 a 15 por 100 de berilia, y además sosa, litina, óxido de cesio, algo de fluor y otros elementos, por lo que puede proponerse la siguiente fórmula röntgenográfica, si bien no muy fundamentada:  $12\text{SiO}^2 \cdot 2\text{Al}^2\text{O}^3 \cdot 6\text{BeO}(\text{R}^2, \text{R}_1)\text{O}$ .

Un hecho notable, comprobado por diversos investigadores como Piutti, Sasaki, Paneth, Peters y lord Rayleigh, es la presencia del helio en proporción siempre superior a la que debiera corresponderle con arreglo a las exiguas cantidades de uranio y torio normalmente contenidas en el berilo. Del análisis de 60 muestras (entre ellas una de Galicia), el último de

los citados autores ha obtenido los siguientes valores, correspondientes a ejemplares de distinta edad:

#### Contenido de helio en $\text{mm}^3$ por gramo de berilo

	Arcaico	Paleozoico	Secundario	Terciario
Máximo.....	77,60	16,80	2,270	0,3840
Medio.....	0,98	1,47	0,157	0,0758

cifras que señalan suficientemente el aumento de la cantidad de helio con la antigüedad del berilo.

Según lord Rayleigh, el referido elemento se ha acumulado en el mineral durante el transcurso de las épocas geológicas, pero no debió de estar presente al formarse el berilo, ni se originó, en los primeros milenios de su vida, por desintegración de elementos de corta edad, cual el radio o el ionio. Tampoco, según el mismo autor, puede atribuirse al uranio ni al torio, así que nos inclinamos a pensar en las transmutaciones nucleares del propio berilio.

El núcleo atómico de berilio-9, por la acción de los rayos  $\gamma$  libera un neutrón para constituir el berilio-8, inestable, que se escinde en dos núcleos de helio; como los rayos  $\gamma$  naturales son poco energéticos, acaso haya existido una intervención, reiterada a través del tiempo, de las llamadas *radiaciones cósmicas*, análogas a las  $\gamma$ , aunque de mucha mayor energía. Esta idea que apuntamos, no implica, en modo alguno, la imposibilidad de que pueda verse modificada por un nuevo orden de fenómenos.

Suele cristalizar el berilo en prismas hexagonales transparentes, translúcidos u opacos, de colores diversos: verdoso, amarillento, azulado o rosáceo, de 7,5 a 8 de dureza y

2,63 a 2,80 de densidad. Es difícilmente fusible al soplete e inatacable por los ácidos.

La especie determina dos variedades principales: *berilo noble*, que constituye una de las piedras preciosas más estimadas, y *berilo común*, turbio, translúcido u opaco, que es la mena casi exclusiva del berilio.

La primera variedad comprende diferentes gemas:

a) *Esmeralda*, matizada de verde intenso por el óxido de cromo y en parte por el de vanadio. Cuando carece de defectos, es la piedra de mayor valor; procede de disoluciones residuales de los magmas ácidos o de sus formaciones por sustitución. La de mayor tamaño que se conoce pertenece al duque de Devonshire, por regalo del emperador del Brasil; es un cristal hexagonal de cinco centímetros de diámetro y longitud análoga, que pesa 276,79 gramos. Otra mucho más hermosa de color, que mide 28 milímetros e igual longitud, con peso de 32,2 gramos, se halla en el Museo Británico, procedente de la colección Allan-Greg. Proporcionan soberbios ejemplares Muzo y Chivor (Colombia), y una serie de minas de los alrededores de Sverdlovsk (Urales). Menos importante es la producción de Leydsdorp (Transvaal), Brasil, Egipto, Habachtal (Tirol) y Eidsvold (Noruega). En España, aunque no se han encontrado esmeraldas de categoría superior, han aparecido tránsitos a la aguamarina (\*).

b) *Aguamarina*, de color verde de mar, azul o amarillento, debido a la presencia del hierro. Es una gema muy en boga,

(\*) Es curiosa la indicación de Covarrubias de que el famoso joyero de Madrid, Jácome Trezzo, enseñó a varias personas algunas esmeraldas que decía haber encontrado en el arroyo Abroñigal, donde existía un criadero de piedras preciosas. Aunque debió de tratarse de una humorada del artífice la realidad es que originó el reconocimiento del cenagal y que se mantuvo la tradición durante muchos años.

aunque bastante menos rara que la esmeralda, la cual se encuentra en las pegmatitas y placeres derivados de las mismas. En ocasiones alcanza tamaño considerable; el Museo Británico conserva una, de bella tonalidad verde de mar, que pesa 179,5 gramos, y en el año 1910 se encontró en Marambaya (Estado de Minas Geraes, Brasil) un prisma de 48 centímetros de longitud y 41 de diámetro, que pesaba 110,5 kilogramos; la transparencia era tan perfecta que se veía bien a través del cristal, y éste se vendió en 25.000 dólares.

Las aguamarinas que se obtienen hoy, proceden principalmente del citado Estado brasileño de Minas Geraes. Menor categoría ofrecen, como productores, Ankozobe, Betafo y Tsaratanana (Madagascar), Namib (Africa del SO.) y algunas minas de California. Los yacimientos de Rusia van quedando rezagados. En nuestra patria fueron descubiertas en Salamanca, el año 1922, algunas aguamarinas que utilizó como gemas M. Chretien, lapidario de Barcelona. Asimismo en la Sierra Albarrana (provincia de Córdoba), particularmente en la mina «La Coma» han sido halladas otras de tonos azulados y verdosos de gran belleza.

c) *Morganita*, de color rosa debido al cesio. Variedad rara, muy límpida, localizada, en unión de microclino, albíta y especies líticas, en las drusas de las pegmatitas sodalíticas de Maharitra (Madagascar), y en Ramona y Pala (California).

d) *Berilo dorado*, de tono amarillo o amarillo-verdoso, producido por radiactividad, y luminiscencia azul. Es el *heliodoro* de Africa del SO.

El berilo común, es la fuente principal de berilio. Contiene alrededor de 5 por 100 del metal, y aparece en los diques pegmatíticos de la serie del granito, a veces en cristales de extraordinaria magnitud. En Albany (Maine, Estados Uni-

dos), fué hallado uno de seis metros de longitud, 1,5 de anchura y 18 toneladas de peso. En un dique de Black Hills (Estados Unidos) apareció, en 1933, una masa cristalina de 33 toneladas, y más tarde, otras tres que pesaron 16, 11 y seis toneladas, respectivamente. En 1944 se han encontrado, finalmente, otro cristal gigantesco de berilo, de más de ocho metros de longitud, con un peso de 61,25 toneladas.

Abunda el berilo en St. Michaels-Mount (Cornwal), Zwiesel (Moravia), Chanteloube (Limoges), Iveland (Noruega), Namib y Namaqualand (Africa del SO.), Ackwort y Grafton (New Hampshire), Haddam (Connecticut), Melville (Australia Occidental), y en España en las pegmatitas y el granito de Córdoba, Pontevedra, sierras de Béjar y Guadarrama, etcétera.

#### FENACITA

Ortosilicato de berilio anhidro, de fórmula:  $\text{SiO}^4\text{Be}^2$ . Contiene 44 a 46 por 100 de berilia y cristaliza en el sistema romboédrico. Es incolora, amarillenta o rosa pálida, con lustre vítreo y muy semejante al cuarzo. Dureza, 7,5 a 8; densidad, 3.

Este mineral, de origen hidrotermal a neumatolítico, se halla en las minas de esmeraldas de Takowaya (Urales), y en los filones de Miask (cordillera del Ilmen), Kragerö (Noruega Meridional) y Framont (Vosgos). Forma cristales de gran belleza en San Miguel de Piracicaba (Minas Geraes, Brasil), y aparece, además, en Spitzkapje (Africa del SO.), Topaz Butte y Mount Antero (Colorado, Estados Unidos).

#### BERTRANDITA

Ortosilicato de berilio hidratado, de fórmula:  $(\text{SiO}^4)^2\text{Be}^4\text{H}^2\text{O}$ . Es una especie rómbica, transparente, inco-

lora o amarilla brillante, con intenso lustre vítreo, que encierra 40 a 43 por 100 de berilia y constituye un producto de alteración del berilo. Aparece en las pegmatitas de Nantes y La Villeder (Francia), Pisek (Checoslovaquia), Spitzkopje (Africa del SO.), Mount Antero (Colorado), Stoneham (Maine) y Berford (Nueva York).

#### EUCLASA

Silicato de aluminio y berilio hidratado, de fórmula:  $(\text{SiO}^4\text{BeOH})\text{Al}$ . Contiene 17 a 18 por 100 de berilia y se considera como piedra preciosa. Forma cristales monoclinicos casi siempre transparentes, incoloros o de tono verde claro. Posee 7,5 de dureza y 3 a 3,1 de densidad. Se halla en las pegmatitas de Epprechstein (Alpes) y Ouro Preto (Brasil), y ha sido descubierta, no hace mucho, en el Congo Belga y en Lukangasi (antigua (Africa Oriental Alemana). Como elemento secundario, aparece en los placeres auríferos del río Sanarka (Urales).

#### EUDIDIMITA

Silicato sódico berílico hidratado, de fórmula:  $(\text{Si}^3\text{O}^7\text{BeOH})\text{Na}$ . Es un mineral monoclinico, incoloro o blanquizco, que encierra 10 a 11 por 100 de berilia. Dureza, 6; densidad, 2,55. Se encuentra en las sienitas eleolíticas del fiordo de Langesund (Noruega) y en Groenlandia.

#### EPIDIDIMITA

Especie químicamente análoga a la anterior, aunque rómbica. Hállase, como aquella, en el fiordo de Langesund y en Narsarsuk (Groenlandia).

## TRIMERITA

Silicato de berilio, calcio y manganeso, de fórmula:  $(\text{SiO}^+\text{Be})^3\text{CaMn}^2$ . Mineral raro, monoclinico, que forma cristales transparentes o translúcidos, de color salmón o incoloros, con fuerte lustre vítreo. Posee 16 + 17 por 100 de berilia, 6 ÷ 7 de dureza y 3,5 de densidad, y se ha encontrado en Pajsberg (Wermland).

## MILARITA

Silicato hidratado de berilio, aluminio, potasio y calcio, de fórmula:  $(\text{Si}^{12}\text{O}^{30}\text{AlBe}^2)(\text{OH})\text{Ca}^2\text{K}$ . Aunque se presenta en cristales exteriormente hexagonales, constituye, en realidad, una especie rómbica. Es transparente, incolora o de matiz verde-amarillento claro. Dureza, 6; densidad, 2,6. Se halla en las fisuras del granito de Val Giuf (Grisones).

## BITYTA

Constituye una zeolita con 2 por 100 de berilia, poco conocida, que se presenta en tablas rómbicas, pseudo-hexagonales, en Bity (Madagascar), de donde ha tomado su nombre.

## GADOLINITA

Silicato de berilio, hierro, torio y elementos de las tierras raras. Tiene por fórmula abreviada:  $(\text{SiO}^+\text{BeO})^2\text{FeY}^2$ , y contiene 5 a 11 por 100 de berilia; a causa de la presencia del torio, suele ser radiactiva. Posee color negro de pez, lustre vítreo, algo grasiento en las fracturas recientes, y raya gris verdosa. Dureza, 6,5; densidad, 4 ÷ 4,7. Forma grandes cris-

tales, hasta de 500 kilogramos, en las pegmatitas de Iveland (Noruega); aparece también en el propio país, en Hitterö y Hundholmen, y además en Finbo e Ytterby (Suecia), Alpes, el Harz, Condado de Llano (Texas) y Australia.

## MELINOFANA

Fluosilicato de berilio, aluminio, calcio y sodio, de fórmula:  $\text{Si}^9\text{O}^{30}\text{F}^4\text{Na}^4(\text{Be},\text{Ca})^{12}$ . Encierra 10 a 14 por 100 de berilia y determina cristales tetragonales de color amarillo de azufre, más o menos rojizo. Dureza, 5,5; densidad, 3. Se halla en las pegmatitas nefelinicas del fiordo de Langesund, Laven y Frederiksvärn (Noruega).

## LEUCOFANA

Fluosilicato muy semejante al anterior y de la misma procedencia. Tiene por fórmula:  $\text{Si}^5\text{O}^{12}\text{F}^2\text{Na}^2(\text{Ca},\text{Mg},\text{Be})^3$ , encierra 10 ÷ 12 por 100 de berilia y cristaliza en el sistema rómbico.

## HELVINA

Sulfosilicato de berilio, hierro y manganeso, de fórmula:  $3\text{SiO}^+\text{Be}(\text{Mn},\text{Fe})\text{SMn}$ . Tiene parentesco reticular con la familia de la sodalita y se presenta en cubos de color amarillo de miel, verdoso o pardusco, con lustre graso. Contiene 13 a 14 por 100 de berilia y aparece en las pegmatitas sieníticas de Noruega, Lupiko (Finlandia), Miask (Urales) y Amelia (Virginia). Preséntase asimismo en los criaderos de piritita y blenda de Schwarzenberg y Breitenbrunn (Sajonia), y en los filones metálicos de Kapnik (Hungria).

## ACTARAGDITA

Muy posiblemente constituye una pseudomorfosis de la helvina, encontrada en Vilui (Siberia Oriental).

## DANALITA

Sulfosilicato de berilio, cinc, hierro y manganeso, de fórmula:  $3\text{SiO}_4\text{Be}(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Mn})\text{SZn}$ . Especie cúbica, translúcida, de color rojo de carne a gris. Tiene  $5,5 \div 6$  de dureza,  $3,4$  de densidad y encierra 13 a 14 por 100 de berilia. Se halla en el granito de Cape Aun (Rockport) y Goucester (Massachusetts), en la mina de magnetita de Bartlett (New Hampshire) y en Redruth (Cornwall).

## CRISOBERILO

Aluminato de berilio, de fórmula:  $\text{Al}_2\text{O}_4\text{Be}$ . Lleva también el nombre de *cimofana*, y es rómbico, transparente o translúcido, de color amarillo verdoso a verde espárrago, con lustre vítreo, graso en las fracturas. Por un fenómeno particular de absorción, la variedad verdosa llamada *alejandrita*, aparece rojiza a la luz artificial. Las variedades puras del crisoberilo, constituyen gemas muy apreciadas. La especie contiene  $19 \div 20$  por 100 de berilia, cuenta con gran dureza,  $8,5$ , y posee  $3,7$  de densidad. Se encuentra en las pegmatitas y micacitas de Marschendorf (Moravia), Iveland (Noruega), Takovaya (Urales), Drew Hill (Colorado), Haddam (Connecticut), Brasil y Madagascar. Asimismo aparece en los aluviones de piedras preciosas de Ceilán, Pegú y Brasil.

## BERILONITA

Fosfato de berilio y sodio, de fórmula:  $\text{PO}_4\text{BeNa}$ . Mineral monoclinico, aunque de aspecto hexagonal, incoloro o blancuzco y con lustre vítreo o nacarado. Posee  $19 \div 20$  por 100 de berilia,  $5,5$  a  $6$  de dureza y  $2,85$  de densidad, y se halla en las pegmatitas de Stoneham (Maine).

## HERDERITA

Fluofosfato de berilio y calcio, de fórmula:  $\text{PO}_4\text{CaBe}$ , en el que existe una sustitución parcial del fluor por OH. Aparece en cristales monoclinicos, incoloros o débilmente amarillentos, con lustre vítreo. Dureza,  $5$ ; densidad,  $2,8 + 3$ . Encierra  $15$  a  $16$  por 100 de berilia y se halla en la región de Waldstein (Checoslovaquia) y en algunos filones graníticos de Stoneham, Auburu y Hebrén (Maine, Estados Unidos).

## HAMBERGITA

Borato de berilio, de fórmula:  $\text{BO}_3(\text{OH})\text{Be}^2$ . Contiene  $53$  a  $54$  por 100 de berilia y forma cristales rómbicos, generalmente alargados, transparentes, incoloros o grises, con lustre vítreo,  $7,5$  de dureza y  $2,35$  de densidad. Se encuentra en Madagascar, Cachemira y en un filón sienítico del fiordo Langesund (Noruega).

El estudio mineralógico pone bien de relieve que el berilio es un elemento *litófilo* que se asocia a la sílice y alúmina lo mismo que los metales alcalinos y alcalino-térreos en los feldespatos o en el apatito. Genéticamente, está ligado a las

pegmatitas, y en ellas se presenta gracias a la influencia de acciones profundas, que debieron de acompañarse de una aportación de berilio, semejante a las de sosa y litina en la formación de los filones auríferos y estanníferos.

Los magmas graníticos constituyen, con frecuencia, como es sabido, diferenciaciones de otros en un principio intermedios, pero ulteriormente más afines a los ricos en sílice y en compuestos volátiles, así que resultan particularmente aptos para amplias diferenciaciones. Al solidificarse las plutonitas, el magma, que en las rocas ácidas muy silíceas o en las ricas en sosa, permanece en estado líquido, por lo menos en parte, hasta temperaturas de  $650 \div 750^\circ$ , se forman pegmatitas, y cuando cristalizan en ellas los minerales desprovistos de elementos volátiles (cuarzo, ortosa, mica), por descenso de temperatura, se concentran, fuera de la fase sólida, no solamente el vapor de agua, anhídrido carbónico, fluor, cloro, boro, y otros cuerpos volátiles en estado de combinación, cual el volframio, estaño y molibdeno, sino aquellos que escapan a la larvación en especies petrográficas por la pequeñez de sus radios iónicos, como sucede con el litio, el berilio y los metales de las tierras raras.

La disolución fundida goza de gran movilidad en su dominio, y, en consecuencia, penetra con facilidad, impulsada por la extrema tensión interna de gases y vapores, en las fisuras de contracción y cavidades miarolíticas. Así se producen rellenos genéticamente equivalentes, en los que cristalizan las especies berilíferas procedentes de las porciones más jóvenes, creadas o transformadas por los agentes hidrotermales.

Influyen, efectivamente, en la mineralización, las exhalaciones neumatolíticas posteriores, que a más de resolver la ebullición de las disoluciones, originan productos distintos de

las pegmatitas, pues que en éstas predomina el carácter de fusión. Tales exhalaciones cuentan con extraordinaria actividad química y, en su virtud, algunos de los minerales formados al principio, sufren modificaciones por neumatolisis. De esta manera, sufren las rocas determinadas alteraciones, se produce la casiterita a expensas del estaño y hay una nueva génesis de berilo y apatito.

Según ya hemos indicado, la mena casi exclusiva del metal que nos ocupa, es el berilo. El primer país productor es, en la actualidad, el Brasil; siguen luego la Argentina, Australia, el Indostán, cuyas extensas áreas pegmatíticas encierran importantes reservas de mineral; los Estados Unidos, con los yacimientos de New England, Apalaches meridionales, Black Hills, Montañas Rocosas y Taos County (Nuevo México), y luego otros países como Africa del SO., Madagascar, Mozambique, Portugal, Francia, Italia, Noruega, Rumania, los Urales, Siberia y el Canadá.

En España los criaderos son excepcionales, y en todos ellos es característica la asociación con minerales radiactivos, lo mismo que en Madagascar, Francia, Checoslovaquia y tantos otros lugares.

En la provincia de Córdoba, los interesantes trabajos del ingeniero A. Carbonell han permitido delimitar dos grupos de alineaciones de pegmatitas ricas en berilo y sustancias radiactivas: la de Villaviciosa, que corre desde el S. de Espiel hasta las inmediaciones de Cerro Muriano, y la de la Sierra Albarrana, en Fuenteovejuna y Hornachuelos. Los terrenos estudiados ocupan una superficie de 35 kilómetros de largo por 10 de anchura, y ofrecen más de 1.000 afloramientos berilíferos. En la mina «Admiración» se han encontrado ejemplares cristalizados, con un peso de 52 kilogramos, y en

«La Coma» aparecieron también otros prismas de 100 kilogramos, alguno de más de un metro de longitud.

Las pegmatitas se hallan encajadas en terrenos estratocristalinos que parecen corresponder a la cobertera de un batolito granítico, que sufrió el proceso del metamorfismo regional y de contacto, y ha quedado cortada por apófisis o diques lacolíticos.

Dichas pegmatitas representan la última fase de la emisión magmática de la sierra de Los Santos, la cual ha actuado, con la del valle de Los Pedroches, para plegar la cuenca hullera de Peñarroya-Bélmez. Según Carbonell, corresponde al Carbonífero medio.

La distribución del berilo en la pegmatita no está sujeta a normas que permitan apreciar su continuidad. Por tal circunstancia, la diseminación de los afloramientos hipógenos, y la falta, en muchos de ellos, de trabajos de investigación, no es prudente ofrecer una cubicación capaz de valorar la riqueza de la zona, mas la naturaleza de los minerales induce a considerarla de extraordinario interés para la economía nacional.

Ante el valor del berilo y los minerales radiactivos, se iniciaron trabajos de reconocimientos, y algunas explotaciones que se han concentrado en las vertientes de la citada sierra de La Albarrana, en término de Hornachuelos. La producción de berilo alcanzó, en 1940, 3.500 kilogramos, con un precio medio de venta de 10 pesetas el kilogramo.

Existen, además, en España, otros yacimientos en Galicia, sierra de Gata, hacia los límites de Salamanca y Cáceres, sierra de Guadarrama y Cabo de Creus (Gerona).

Pasan de 20 los afloramientos de pegmatita berilífera reconocidos por los ingenieros A. y L. Carbonell en Pontevedra, y se han solicitado diversas concesiones mineras en los

términos de Valga, Viascón y otros. El Instituto Geológico y Minero de España exhibe, en su Museo de Minerales, un hermoso prisma hexagonal que procede de Monterrey (Orense), y cerca de Santiago de Compostela se ha recogido también un buen ejemplar.

La sierra de Guadarrama ha proporcionado, asimismo, bastantes hallazgos de berilo. Así ocurre en Cabanillas de la Sierra, Miraflores, Peguerinos y El Escorial, en cuyo último punto se ha encontrado el postrer yacimiento, a mediados de 1942, en una pegmatita encajada en el granito porfídico. Los berilos, muy lustrosos y de aristas vivas, tienen colores azules y verdes, y son algo translúcidos.

**DATOS PARA LA GEOLOGIA  
DE LA PROVINCIA DE LERIDA**

POR

**JUAN DE LIZUR Y ROLDAN**

*Ingeniero de Minas*



JUAN DE LIZAUR Y ROLDAN

Ingeniero de Minas

## DATOS PARA LA GEOLOGIA DE LA PROVINCIA DE LERIDA

Con motivo del estudio geológico para unos aprovechamientos hidroeléctricos, el año 1948, en el alto Pirineo, en las cabeceras de los arroyos que forman el río Noguera de Cardós, he recorrido detenidamente las cuencas de los lagos Mariola, Puerto, Flamisella y Gueroso superior o «blanch», medio e inferior, que aportan sus aguas al río de Tabescan; y las de Certescans, Rumedo, superior o medio e inferior, Senó y Guiló, que alimentan el río de Lladorre.

Estos dos ríos, Tabescan y Lladorre, unen sus aguas en el pueblo de Tabescan, para formar el río Noguera de Cardós, afluente por la izquierda del Noguera Pallaresa, en Llavorsí.

En el mapa 1:400.000 de la provincia de Lérida, publicado por el Instituto en 1948, magnífico trabajo que no tenemos el ánimo de criticar en estas cortas líneas, se da a la mancha granítica que se interna en Francia, una extensión, por el Sur, mayor que la que en realidad tiene, y se sitúan todos los lagos en el granito.

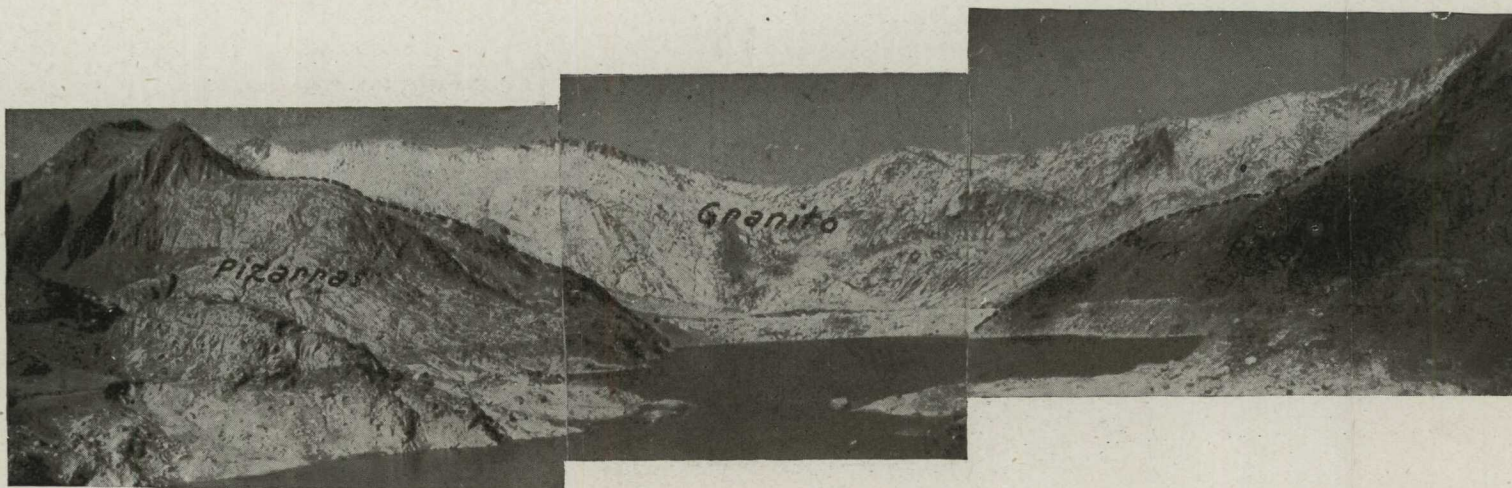
La mayor parte de éstos están en las pizarras devonianas muy duras, frecuentemente muy silíceas, entre las que se intercalan bancos de cuarcitas y algunos de cuarzo blanque-

cino como el que se encuentra en las proximidades del lago Certescans. En general tienen color amarillo, en otros sitios rojizo, presentándose en los manantiales, que hay en ellas, las aguas muy ferruginosas.

En los desagües de los lagos y en las laderas se observa la intensa acción glaciárica a que han estado sometidas estas rocas.

En el plano están situados los contactos en su verdadera posición.

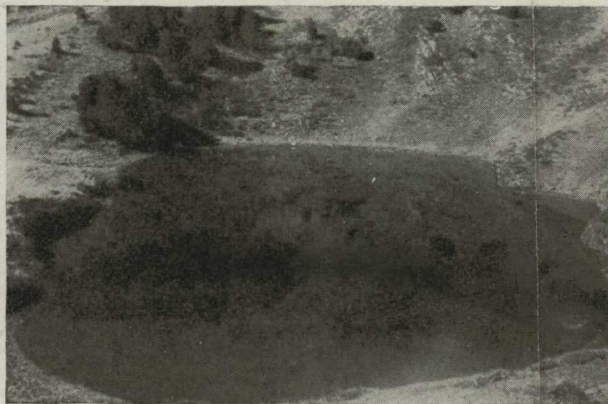
Madrid, 27 de diciembre de 1948.



Lago Certescans.

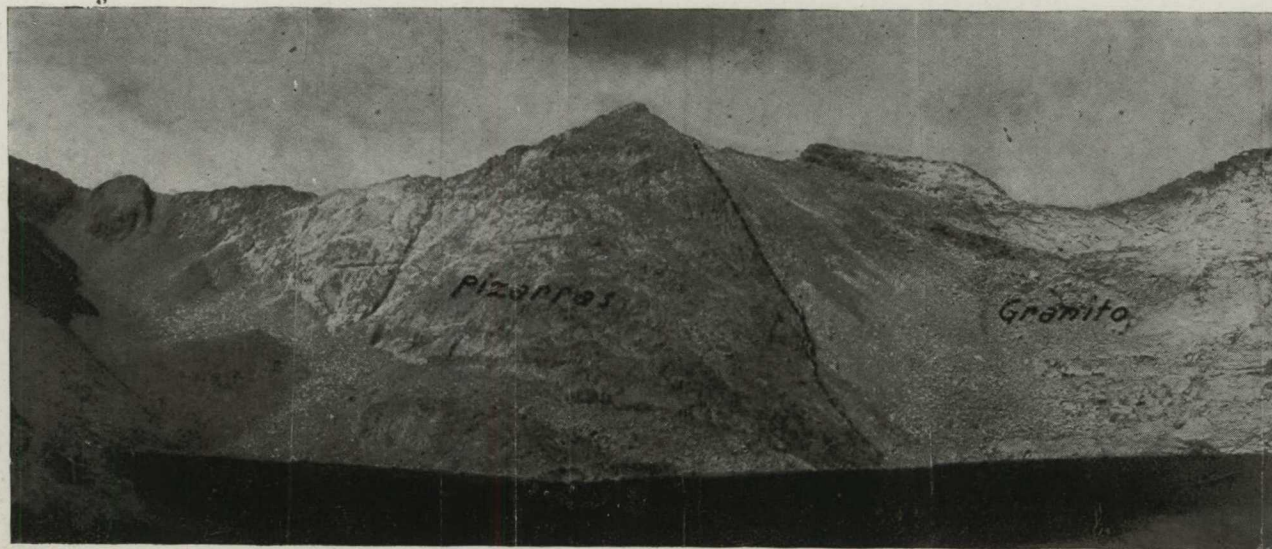


Lago Mariola



Lago Cluzeil.





Lago Gueroso superior o «blanch»



Lago Naorte.



Lago Gueroso inferior.

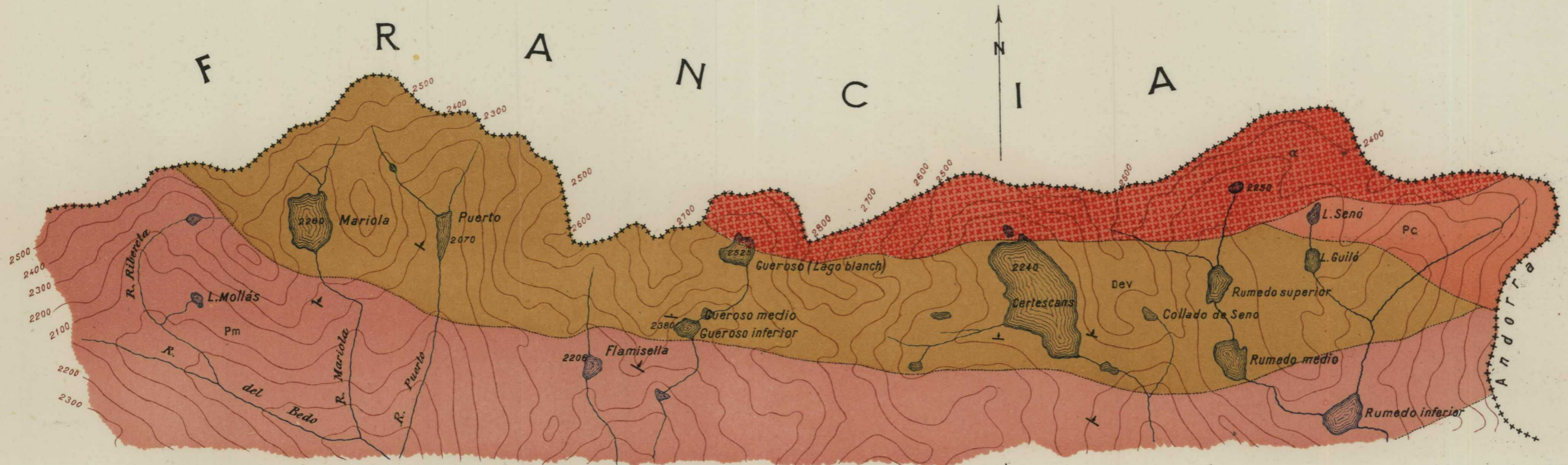


Lago Naorte.

# DATOS PARA LA GEOLOGÍA DE LA PROVINCIA DE LÉRIDA

J. LIZÁUR  
1948

ESCALA 1:50.000



- Dev *Devoniano*
- Pm *Pizarra metamórfica del siluriano*
- Pc *Precambriano*
- α *Granito*



**ESTUDIO DE ALGUNOS YACIMIENTOS  
ESPAÑOLES DE KIESELGUR**

**POR**

**J. FERNANDEZ PACHECO**



J. FERNANDEZ PACHECO

## ESTUDIO DE ALGUNOS YACIMIENTOS ESPAÑALES DE KIESELGUR

### RESUMEN

Los yacimientos de kieselgur, que desde hace pocos años se han venido descubriendo en la provincia de Jaén principalmente, son importantes por la calidad y cantidad del producto que de ellos se extrae. Sin embargo, no hemos encontrado ninguna publicación sobre su constitución botánica. En cambio, el de Morón, de escasa importancia, fué estudiado detenidamente por investigadores españoles y extranjeros.

El presente trabajo contiene los resultados de nuestras investigaciones sobre el kieselgur de algunos de los nuevos depósitos. Citamos su localización; relacionamos las especies de diatomáceas que hemos podido identificar en ellos, haciendo lista aparte con las que no se habían citado en España; describimos otras que no hemos encontrado catalogadas, y finalmente, damos la composición química de las muestras analizadas.

\* \* \*

Los yacimientos españoles de Trípoli descubiertos hasta el momento actual se encuentran tan poco estudiados, que puede decirse que sólo se conocen por su aplicación inmediata, pero no aparece ninguna publicación formal sobre la constitución botánica de tal producto, excepto del de Morón, estudiado desde este aspecto por don Florentino Azpeitia en su obra «La diatomología española en los comienzos del siglo xx», y por Cala en su «Geología del término de Morón», aparte de otros autores extranjeros que también fijaron su

atención sobre tan célebre yacimiento. Pero, según criterio de los técnicos en su explotación, el producto de este yacimiento no ha encontrado aplicación industrial ni por su calidad, ni por la cantidad que puede suministrar.

La circunstancia de haber caído en poder del doctor Moreno Martín unas muestras para su análisis de dicho producto, correspondientes a unas minas españolas de kieselgur que se encontraban en plena explotación, así como la gran variedad de especies botánicas que en una primera impresión pudo diferenciar en dichas muestras, llamó su atención y motivó el que nos confiara su estudio, procediendo primero a una información bibliográfica que nos pusiera en antecedentes sobre los trabajos realizados en producto tan interesante del suelo español. De ella pudimos deducir que son pocas las aportaciones españolas recientes sobre el kieselgur: en los «Anales de la Real Academia de Farmacia» de agosto de 1943, don Florencio Bustinza señaló la existencia del kieselgur español en su aplicación a la industria de jabones.

Otro trabajo que hemos podido recoger es el publicado en la revista «Ión» (agosto y septiembre de 1945), de V. Alexandre sobre el kieselgur y sus aplicaciones, en el que trata de su preparación y purificación, composición química y más importantes aplicaciones industriales, citando unos cuantos yacimientos extranjeros, pero no haciendo la menor referencia a ninguno español.

En el presente trabajo es nuestro propósito detallar la localización precisa de los que conocemos y exponer el estudio botánico y químico de algunas muestras que hasta el día nos ha sido posible efectuar.

*Localización de los yacimientos.*—Al dar comienzo a este trabajo sólo nos encontrábamos en posesión de muestras co-

rrespondientes a cuatro yacimientos, ignorando su localización exacta dentro de la provincia de Jaén. Creíamos que solamente existían esos en la citada provincia, pero posteriormente llegó a nuestro conocimiento que habían sido descubiertos varios más de mayor extensión e importancia que los primitivos. Aunque ya entraba en nuestro propósito visitarlos personalmente antes de finalizar su estudio, esta referencia nos hizo apresurar el viaje, del que sacamos mucho fruto, pues se ha podido aumentar considerablemente el número de especies citadas, que los yacimientos primitivos no poseían, y, además, hemos conocido la localización exacta de todos los descubiertos en la región y registrados hasta 1947.

El descubrimiento de ellos fué realizado a finales del año 1939, en el término municipal de Porcuna. El primero, registrado con el nombre de «San Félix», tiene aproximadamente una extensión de 40 hectáreas y se encuentra a dos kilómetros del pueblo de Porcuna, a la derecha del camino que va de Porcuna a Valenzuela, encontrándose situado en terreno mioceno. El material que suministra es de aspecto gránulo-fibroso, de contextura blanda y con un tono ligeramente amarillento.

La explotación de esta mina, que empezó a realizarse en el año 1940, dió lugar al descubrimiento de los otros tres yacimientos primitivos, registrados en los alrededores con los nombres de «Santa Irene», «Blanca Nieves» (aludiendo a su albura) y «Carmela», siendo este último el, por entonces, considerado como el mejor, por la calidad del producto que suministraba, desde el punto de vista industrial.

Los bancos de estos yacimientos tienen aproximadamente una altura de unos cuatro metros por diez de largo, y



fueron registrados el día 4 de abril de 1940. Este núcleo se encuentra en el término municipal de Arjona, entre dicho pueblo y Porcuna, encontrándose todo él en terreno mioceno.

Posteriormente, en julio de 1945, se hicieron nuevos hallazgos en zona no muy lejana (por lo que creemos que serán prolongación subterránea de los anteriores), descubriéndose en los términos municipales de Higuera de Arjona, Cazalilla y Menjíbar, doce registros mineros de Trípoli, con una superficie total de unas 6.000 hectáreas y, sucesivamente, otros dos más en Santiago de Calatrava e Higuera de Calatrava.

Ninguno de éstos había sido registrado en el Instituto Minero de la provincia, y, por tanto, podemos afirmar que no han sido conocidos concretamente hasta la época reciente a la que nos hemos referido.

Posteriormente se han hecho registros importantes, encontrándose en explotación en esta zona las siguientes minas de Trípoli:

•«San Gil», ampliación de San Gil, y «Virgen de la Fuen-cisla», situadas en la llamada Loma del Pavo y Atalaya Baja.

«San José» y «La Muralla», en la Atalaya Alta y Pozo de San Miguel.

«Compensación» y «Los Mostrencos», en Cañacavera.

«San Francisco», en Corbú.

«Ampliación de San Francisco», en Higuera de Arjona.

«Mari-Tere», en Espeluy; todas ellas situadas en terreno mioceno, así como las «Pilarín» y «Rafaelito», situadas a dos kilómetros de Porcuna.

En Santiago de Calatrava, aparte de la mina «La Deseada», que describiremos al final, se encuentra la «San José»,

situada en terreno eoceno inferior a un kilómetro de ella, y a unos 100 metros a la izquierda de la carretera que va de Santiago de Calatrava a Porcuna.

«El Capricho» y «Pepito», situadas a dos kilómetros del pueblo, y también en terreno eoceno inferior.

«El Rajallo», en Arjona, situada en el lugar denominado El Pozo de los Pastores, abarcando desde el puente sobre el Rajallo hasta la carretera que va de Arjona a Torredonjimeño, también en terreno mioceno.

En Martos se ha iniciado la explotación de un filón, situado en terreno contiguo a la línea del ferrocarril que va desde Puente Genil a Linares, como asimismo otras dos de poca importancia en Bedmar, y la situada en el paraje denominado «Las Quebradas», del término municipal de Jamilena, todas ellas localizadas en el infracretáceo inferior.

La mina denominada «La Deseada» se encuentra, como hemos indicado anteriormente, a un kilómetro del pueblo y a la derecha de la carretera que sale de Santiago de Calatrava hacia Porcuna. Hasta ahora su explotación sólo está iniciada y el filón es bastante profundo.

La mina «Victoria» fué registrada el día 9 de octubre de 1940 y se encuentra situada en el paraje denominado «Las Cañadas», o Haza de la Tiza, y, por tanto, colindante con las primitivamente descubiertas, a la izquierda de la carretera que va de Baena a Porcuna. Debido a su extensión se ha iniciado su explotación por varias bocas, abiertas en un amplio sector.

Por ser el yacimiento mejor estudiado por nosotros y el considerado como de mayor importancia desde el punto de vista de su explotación industrial, reseñaremos a continuación

su localización exacta, según datos facilitados por el Instituto Minero de Jaén.

#### VISUALES DE REFERENCIA A PUNTOS FIJOS

*Desde San Félix:*

Al centro del torreón del castillo de Torre de los Pa-  
drones:

0,34° 20' S.

A la cúspide del cerro «El Balate»:

0,18° 50' N.

A la esquina Este de la fachada del cortijo «La Tejera:

0,40° 50' N.

**Superficie total: 2.300,000 metros cuadrados.**

#### TECNICA MICROSCOPICA PARA EL ESTUDIO DE LAS PREPARACIONES DE TRIPOLI

La técnica que hemos empleado en la confección de nuestras preparaciones es la siguiente: Colocamos en el centro del cubreobjetos una gota pequeña de bálsamo del Canadá, y la invertimos sobre el portaobjetos, en el que previamente hemos puesto la delgada capa de diatomeas, de forma que ésta contacte con el bálsamo. Sosteniendo la preparación con los dedos, de modo que quede el cubreobjetos hacia arriba, se le da un movimiento giratorio, pasándola sucesivas veces sobre una llama tenue, con lo que se consigue fluidificar completamente el bálsamo por el calor.

Una vez conseguido esto se comprime suavemente el cubre sobre el portaobjetos con movimiento giratorio, y éste

hace que el bálsamo ocupe todo el espacio que protege el cubreobjetos y que las especies se repartan de modo uniforme.

Cuando no queda porción de cubreobjetos sin bálsamo por debajo, y las pequeñas burbujas de aire se han eliminado por la suave presión ejercida, conviene colocar la preparación bajo el chorro de agua fría, o introducirla totalmente en ella, para producir un enfriamiento rápido del bálsamo. Las porciones de bálsamo que sobresalen del cubreobjetos, al hacerse friables por el contacto con el agua, se pueden eliminar fácilmente raspando a lo largo del borde con un filo delgado, quedando muy recortada y limpia la preparación.

Al no utilizar ningún ácido en la limpieza del material, evitamos la desaparición de otros esqueletos que acompañan a las diatomáceas, y cuya naturaleza caliza es destruída por ellos. Su presencia es conveniente anotarla, en el estudio de esta clase de yacimientos, para sacar conclusiones de interés geológico.

Los medios de observación microscópica empleados, han sido los siguientes:

*Objetivos* seco débil (12 X.) y seco fuerte (40 X.). En las estructuras que hemos querido obtener gran detalle, hemos usado el de inmersión (90 X.).

*Oculares* 12 X., 18 X. y 25 X.

Siguiendo la orientación de los trabajos del ilustre diatomólogo español don Florentino Azpeitia, hemos preferido utilizar como forma de patetizar su existencia, y al mismo tiempo por su ventaja en el estudio y clasificación de las especies que componen estos yacimientos, la microfotografía de cada una de ellas al dibujo; pues si bien este último hace

resaltar más las características de estructura, en cambio no da una idea tan exacta ni tan real de ella como la microfotografía. Las de este trabajo han sido realizadas con cámara Leitz de película apropiada. El tiempo de exposición ha sido variable, según la distinta luminosidad que presentaban las preparaciones, oscilando su duración entre cuatro y veinte segundos. Hemos empleado intensidad luminosa constante a 150 voltios para todas ellas, siendo preferible la luz exactamente central para evitar errores de enfoque que luego trasciende al tiempo de clasificar las especies.

#### ESPECIES QUE INSERTAMOS Y QUE NO HAN SIDO DESCRITAS

Las fotografías 1.<sup>a</sup>, 2.<sup>a</sup> y 3.<sup>a</sup> corresponden a una especie que consideramos nueva en la familia de las Bacillariales, pues su descripción no la hemos encontrado, como tampoco el dibujo, en ninguna de las numerosas obras y Atlas que hemos consultado.

Por esta circunstancia la describiremos con detalle, dejando al criterio de los diatomólogos su inclusión o no como especie nueva.

Como puede verse en aquellas fotos, su aspecto es muy parecido al *Actinoptichus undulatus* Ehr. La superficie valvar está dividida por dos radios que se cortan teóricamente, formando ángulos alternos de 50 y 130 grados aproximadamente, presentando areolación exagonal en todas las divisiones de la superficie, a diferencia de lo que ocurre en el *Aptinoptichus undulatus* Ehr.

Hasta ahora, todas las especies consignadas en el género *Aptinoptichus* presentan como mínimo seis divisiones alternantes, mientras la especie que nos ocupa sólo presenta cuatro.

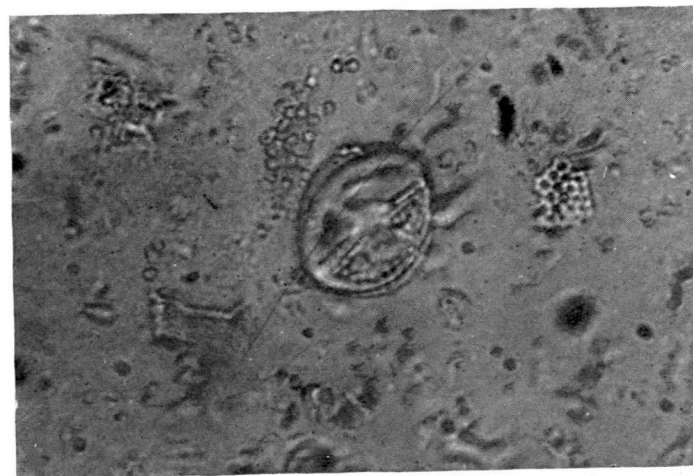


Fig. 2.



Fig. 1.



Fig. 3.

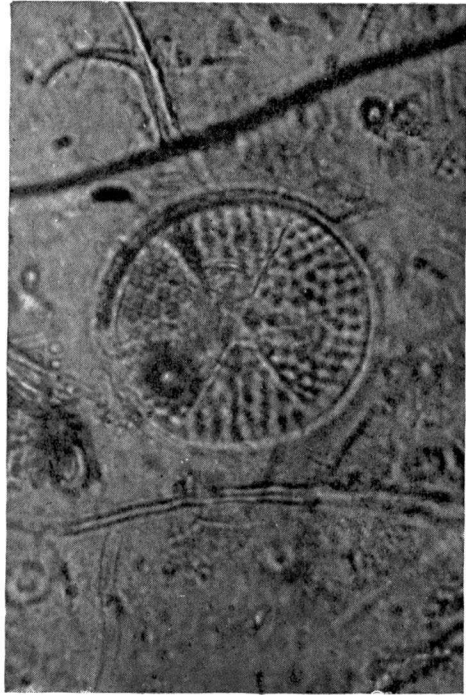
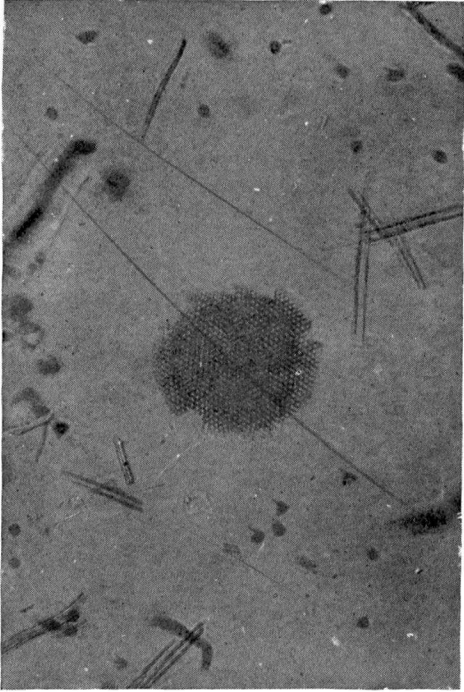


Fig. 4.



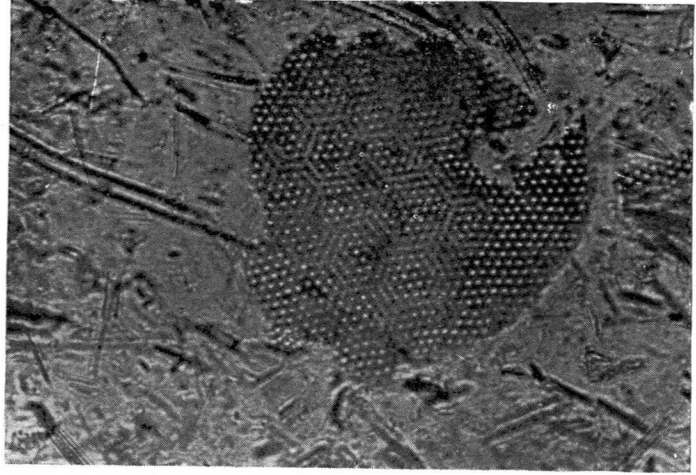
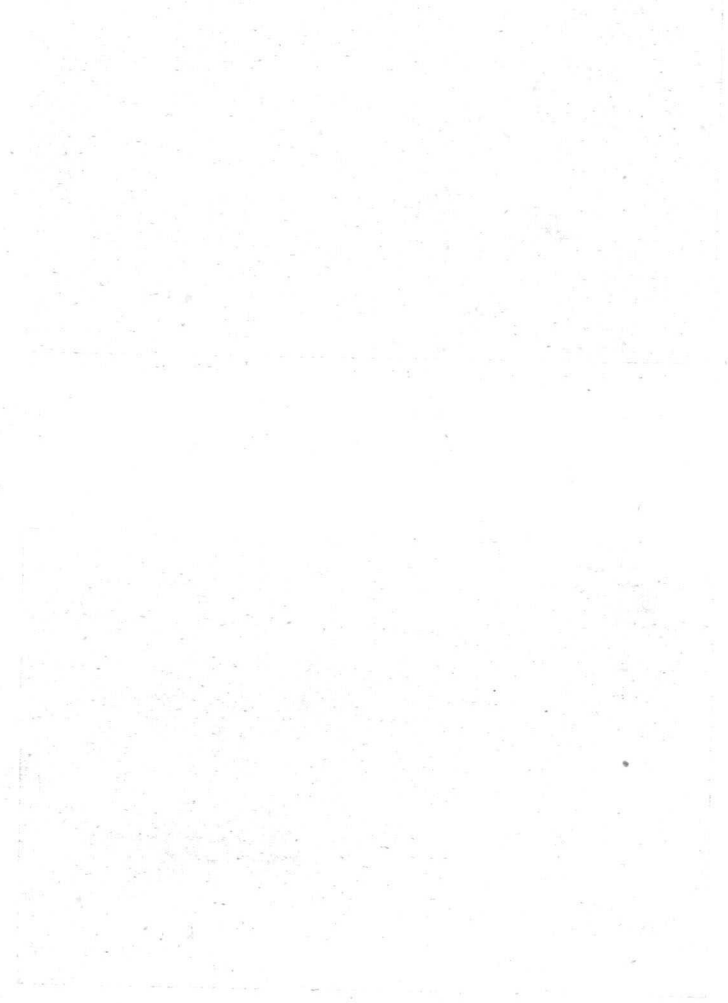


Fig. 6.

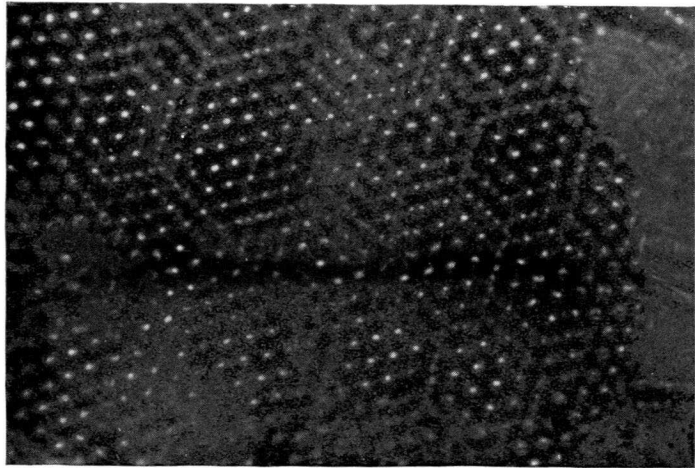


Fig. 5.

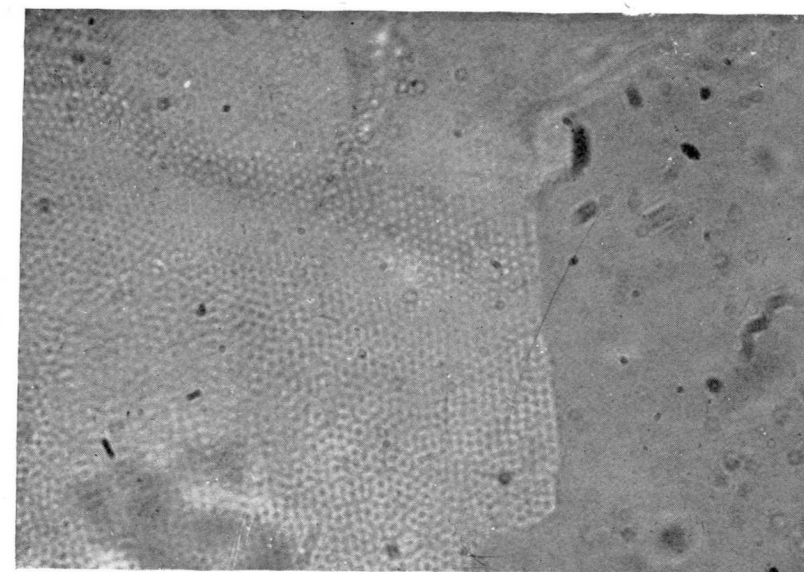
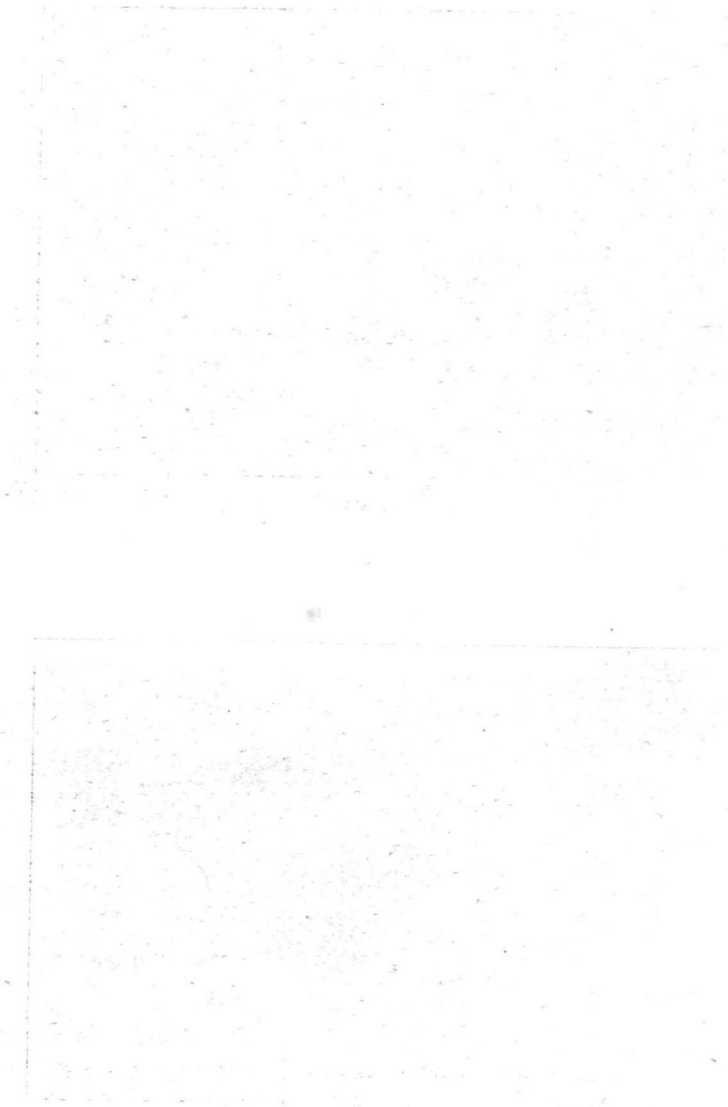


Fig. 8.

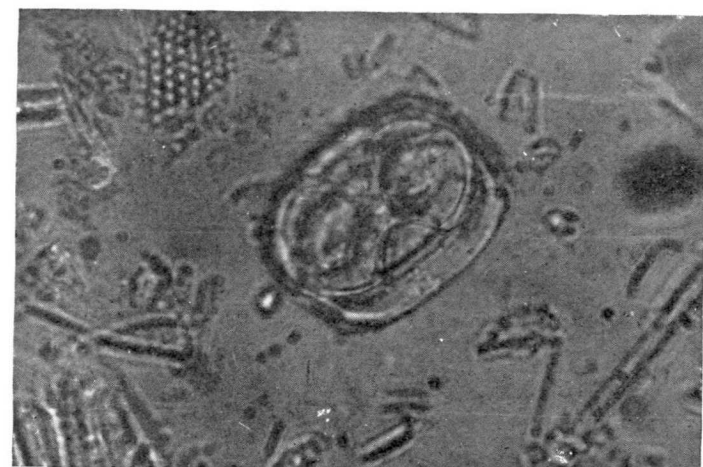


Fig. 7.

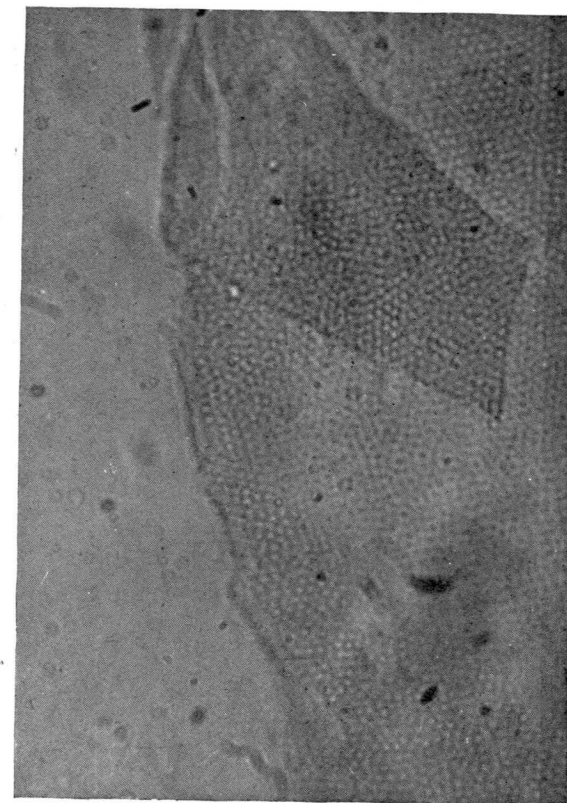


Fig. 9.

Sus dimensiones oscilan entre 50 y 70 micras de diámetro, habiéndola localizado en las muestras de los seis yacimientos estudiados. Por las características tan similares a todas las demás especies del género *Aptinoptichus* la incluimos en él.

Las fotos 4.<sup>a</sup>, 5.<sup>a</sup> y 6.<sup>a</sup> corresponden a un ejemplar que creemos del género *Coscinodiscus*, cuya estructura no ha sido citada en ninguno de los tratados consultados por nosotros. La superficie valvar, constituida por grandes y pequeños alvéolos, estando éstos últimos asociados de tal forma que simulan exágonos bastante perfectos, cuya belleza destaca más en la ampliación que representa la figura 5.<sup>a</sup>

La figura 6.<sup>a</sup> corresponde a otro ejemplar de la misma especie encontrado en muestra distinta de Kieselgur.

Las dimensiones encontradas por nosotros son, respectivamente, 130 y 80 micras de diámetro. Por su forma circular y su estructura alveolar la hemos incluido en el género *Coscinodiscus*. Para nosotros, se trataría de una especie nueva que hemos localizado en los yacimiento «Victoria» y «Santa Irene».

La foto 7.<sup>a</sup> corresponde a una diatomacea muy curiosa que no hemos encontrado clasificada anteriormente.

Dicha especie está constituida por dos valvas cuya unión da origen a un cilindro de escasa altura, análogo al de las especies del género *Aptinopticus*, pero de menor diámetro que todas ellas. Presenta en su cara valvar dos estrías radiadas, opuestas, que no llegan a reunirse en el centro y que representan los bordes de dos tabiques que penetrando perpendicularmente a la cara valvar llegan hasta la cara opuesta. Su superficie es ligeramente estriada, y sus dimensiones son seis micras de diámetro por dos de altura.



Queremos reseñar, antes de finalizar esta relación, que al revisar las preparaciones correspondientes al yacimiento «La Deseada» hemos observado con extraordinaria abundancia la presencia de grandes mantos de sílice (identificada por su inatacabilidad frente a los ácidos), que presentan su superficie finamente perlada, como puede verse en las microfotografías 8.ª y 9.ª

RELACION DE ESPECIES BOTANICAS CONOCIDAS.  
IDENTIFICADAS EN CADA UNO DE LOS YACIMIEN-  
TOS ESTUDIADOS

YACIMIENTO «BLANCA NIEVES»

*Amphora obtusa* Grun.  
*Actinocyclus elongatus* Ehr.  
*Actynoptichus undulatus* Ehr.  
*Biddulphia pulchella* Gray.  
*Cocconeis maxima* Grun.  
*Coscinodiscus josefinus* Grun.  
» *lineatus* Ehr.  
» *marginatus* Ehr.  
» *emphalatus* Grun.  
*Fragilaria Pliocena* Brun.  
» *brestriata* Grun.  
*Melosira sulcata* f.ª *radiata* Grun.  
» *granulata* Ralfs.  
*Navicula maculata* Greg.  
*Nitzschia angustata* W. Smith.  
*Synedra fasciculata* Pant.  
» *Nitzschioides* Grun.  
» *ulna* Ehr.  
*Terpsinoe intermedia* Grun.

YACIMIENTO «CARMELA»

*Actynoptichus undulatus* Ehr.  
*Coscinodiscus Argus* Grev.  
» *bulliens* Kutz.  
» *lineatus* Ehr.  
» *marginatus* Ehr.  
» *Oculus iridis* Ehr.  
» *oscurus* A. Schmidt.  
» *robustus* Grew.  
*Fragilaria brevistriata* Grun.  
*Melosira sulcata* f.ª *radiata* Grun.  
*Synedra fasciculata* Pant.  
» *nitzschioides* Grun.  
» *ulna* Ehr.

YACIMIENTO «SANTA IRENE»

*Amphora optusa* Grun.  
*Actynoptichus undulatus* Ehr.  
*Cocconeis heteroidea* Hantzch.  
*Coscinodiscus argus* Ehr.  
» *bulliens* Kutz.  
» *josefinus* Grun.  
» *lineatus* Ehr.  
» *Marginatus* Ehr.  
» *oculus iridis* var. *loculifera*.  
» *radiatus* Ehr.  
» *robus* Grev.  
*Fragilaria brevistriata* Grun.  
» *pliocena* Brun.

- Melosira granulata* Ralfs.  
 » *ornata* Ag.  
 » *sulcata* f.ª *radiata* Grun.  
*Navicula notabilis* Kutz.  
 » *lanceolata* Ag.  
*Nitzschia angustata* Grun.  
 » *triblionella* var. *Victoria* Grun.  
*Pleurosigma angulatum* W. Smidt.  
 » *affine* var. *fassilis* Grun.  
*Synedra fasciculata* Pant.  
 » *nitzschioides* Grun.

## YACIMIENTO «SAN FELIX»

- Actiniscus pentasterias*.  
*Actinocyclus Ehrebergii* Ralfs.  
 » » var. *crassa*.  
 » *crasus* Ehr.  
 » *Ellipticus* Grun.  
 » *Knemeides* Szent Peter.  
 » *Ralfsii* f.ª *minuta* Ralfs.  
 » *Sparsus* Greg.  
*Fragilaria brevistriata* Grun.  
 » *pliocena* Brun.  
*Melosira sulcata* f.ª *radiata* Grun.  
*Nitzschia angustata* Grun.  
*Synedra salinarum* Grev.  
 » *fasciculata* Pant.  
 » *nitzschioides* Grun.

## YACIMIENTO «VICTORIA»

- Actiniscus pentasterias*.  
*Actinocyclus ehrebergii* Ralfs.  
 » » var. *crassa*.  
 » *crasus*.  
 » *ellipticus* Grun.  
 » *knemeides* Szent-Peter.  
 » *ralfsii* f.ª *minuta* Ralfs.  
 » *sparsus* Greg.  
*Actinoptichus undulatus* Egr.  
*Amphora obtusa* Grun.  
*Biddulphia regina* W. Smidt.  
*Cocconeis scutellum* Ehr.  
*Coscinodiscus curvulatus* Grun.  
 » *excentricus* Ehr.  
 » *lewisianus* Grev.  
 » *marginatus* Ehr.  
 » *nitidus* Greg.  
 » *oculus iridis* var. *loculifera*.  
 » *lacustris* Grun.  
 » *radiolatus*.  
 » *sol* Wallich.  
 » *tabulatus*.  
*Cyclotella kutzingiana* Thw.  
 » *superba*.  
*Cymbella gastroides* Grun.  
 » *cymbiformis* Breb.  
*Chaetoceros grastridulum* Ehr.  
*Diploneis grandleri* A. Schmidt.  
 » *splendida* Greg.

*Encyonema auerswaldi* Rab.  
*Eupodiscus gregorianus* Breb.  
*Gomphonema acuminatum* Ehr.  
     »    *olivaceum* Kutz.  
*Grammatophora longissima* Petit.  
*Hemiaulus polimorphus*.  
*Hyalodiscus laevis* Ehr.  
     »    *ap. tilis* Bail.  
*Etenodiscus hungaricus* Pant.  
*Melosira ambigua* Grun.  
     »    *granulata* var. *muzzanensis* Meis.  
     »    *radiata* f. *sulcata*.  
*Nitzschia angustata* Grun.  
*Podosira spiro-radiata* Brun.  
*Raphonesis Boryata* Bory.  
*Stephanopyxis marginata* Grun.  
     »    *turris* Grev.  
*Stoschia admirabilis* C. Jan.  
*Surirella fastuosa* Ehr.  
*Synedra fasciculata* Pant.  
*Stephanopsis appendiculata* Ehr.  
*Terpsinoe intermedia* Grun.

## YACIMIENTO «LA DESEADA»

*Actinocyclus Ehrebergii* Ralfs.  
     »    »    var. *crassa*.  
     »    »    var. *tenella*.  
     »    *Knemeides* Szent-Peter.  
     »    *sparsus* Greg.  
*Actinoptichus undulatus* Ehr.  
*Amphora optusa* Grun.

*Coscinodiscus curvatulus* Grun.  
     »    *excentricus* Ehr.  
     »    *lineatus* Ehr.  
     »    *Marginatus* Ehr.  
     »    *nitidus* Greg.  
     »    *suptilis* Ehr.  
*Cyclotella bodanica* Eul.  
     »    *superba*.  
*Chaetoceros curvisetus*.  
     »    *didymus* Ehr.  
     »    *hispidus*.  
     »    *holsaticus*.  
*Dactyliosolen antarcticus* Castrac.  
*Hemiaulus Kittoni* Grun.  
*Halodiscus laevis* Ehr.  
*Leptocylindrus Danicus* Sch.  
*Melosira sulcata* f. *radiata*.  
*Trinacria sculpta* Herb.

## Especies no citadas anteriormente en España

*Actiniscus pentasterias*.  
*Actinocyclus Ehrebergii* var. *crassa*.  
     »    »    var. *tenella*.  
     »    *elongatus*.  
     »    *kenemeides* Szent-Peter.  
     »    *sparsus* Greg.  
*Amphora obtusa* Grun.  
*Cocconeis heteroidea* Hantzsch.

- Coscinodiscus Argus* Ehr.  
 » *bulliens*.  
 » *Josefinus* Grun. '  
 » *lineatus* f. *latestriata*.  
 » *radiolatus*.  
 » *sol* Wallich.
- Chaetoceros curvisetus*.  
 » *didymus* Ehr.  
 » *hispidus*.  
 » *holsaticus*.
- Cyclotella kutzingiana* Thw.  
 » *superba*.
- Cymbella gastroides* Grun.  
*Dactyliosolen antarcticus* Castrac.  
*Eupediscus gregoriemus* Breb.  
*Fragilaria brevistriata* Grun.  
*Gramatophora longissima* Petit.  
*Hemiaulus kittoni* Grun.  
 » *polimorphus*.  
*Hyalodiscus laevis* Ehr.  
*Klenodiscus hungaricus* Pant.  
*Leptocylindrus danicus* Sch.  
*Melosira ambigua* Grun.  
 » *granulata* var. *muzzanensis* Meis.  
 »       »       Ralfs.  
 » *ornata*.  
*Nazicula maculata* Greg.  
 » *notabilis*.  
*Nitzschia triblyonella* var. *Victoria*.  
*Podosira spiro radiata* Brun.  
*Raphoneis Boryana* Bory.  
*Stephanopyxix marginatus* Grun.

- Stochia admirabilis* C. Jan.  
*Synedra fasciculata* Pant.  
 » *provincialis* Grun.  
 » *salinarum*.  
*Terpsinoe intermedia* Grun.  
*Trinacria sculpta* Herb.

## ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MUESTRAS

Promedio de los resultados obtenidos

	Muestra Blanca Nieves	Muestra Carmela	Muestra Santa Irene	Muestra San Félix	Muestra Victoria	Muestra Deseada
Acido Silicico .....	79,2 %	82,15 %	63,7 %	68,94 %	89,40 %	73,4 %
O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> .....	3,8	4,8	5,7	4,27	1,48	3,75
O <sub>2</sub> Ca.....	6,28	6,1	11,6	7,53	2,29	7,28
O <sub>2</sub> Mg.....	6,40	—	7,93	3,68	—	2,35
Humedad.....	4,27	6,87	10,9	14,94	6,62	13,20
CO <sub>2</sub> .....	Muy escaso en todas las muestras					

Laboratorio y Parque Central de Farmacia Militar. Sección de Investigación. Junio de 1948.

NOTA PRELIMINAR ACERCA  
DE  
«FUNDAMENTOS DE UNA MORFOLO-  
GIA ASTURIANA»  
ESTRUCTURA DE PLIEGUES  
DE AGRUPACION  
POR  
PRIMITIVO HERNANDEZ SAMPELAYO

PRIMITIVO HERNANDEZ SAMPELAYO

NOTA PRELIMINAR ACERCA DE  
«FUNDAMENTOS DE UNA MORFOLOGIA  
ASTURIANA»  
ESTRUCTURA DE PLIEGUES DE AGRUPACION

Debemos detallar un hipotético núcleo diapírico, que no siempre completo en sus términos, se ofrece como estructura interna en todos los pliegues paleozoicos de esta zona y de los cuales, por demolición y erosión continental se derivan repetidamente las morfologías planas. El detalle de pliegue núcleo perforante es así: El núcleo, con frecuencia de cuarcitas blancas, corresponde a la base del ordoviciense, sin que hayamos visto nunca el postdamiense ni otros tramos cambrianos; las pizarras del ordoviciense están casi ausentes de esta gran transgresión y en contacto anormal se suelen ofrecer con aparente concordancia, por su análoga materia litológica y escasa discordancia angular; superpuestas areniscas de tipo devoniano, pues a veces enriquecen tanto en hierro que han llegado a considerarse como menas, lo cual autoriza a esa suposición; encima y con repetida anomalía y transgresión, aparecen los delgados y rosáceos mármoles griota, mezclados, en la Ballota' con los tableados horizontes de mármol negro y las capas litoides verdes, rojas y oscuras de las clásicas agrupaciones baregianas, tan frecuentes en los Pirineos, unidas, como en Cúé, a los indicios y criaderos de la mena manganesífera.

Encima por fin, yacen las otras areniscas, que suelen ofrecer *archeoocalamites* y lechos carbonosos, los cuales, ya del Infracarbonífero, podrían cuadrar con su colocación *tourna-siense*, puesto que la parte alta de los montes y topografía general queda marcada por la caliza de Montaña, alguna ligera arenisca y hasta pudinga o gonfolita de facies westfaliense.

Este repetido y complejo núcleo diapírico es el que analizaremos con faunas detalladas y tectónicamente, es el que nos ha servido de fundamento para conservar su expresión gráfica con los colores geológicos devonianos (areniscas) y carboníferos (calizas con *despiece* y tono azul), conservando el tono verde compuesto para la base del siluriano, cuarcitas subrayadas con algunos trazos morados del tono mesosiluriano.

Es un caso de representación estructural, que, en nuestra opinión, debe ofrecerse unida, pues se repite, con algunas variaciones, en el paleozoico, desde Cataluña hasta Galicia, por lo cual puede representar, en grafismo compuesto, un eslabón de encadenamiento apreciable para representación en hojas y zonas colindantes.

*Génesis de las sierras planas.*—La presencia de estas sierras de suaves laderas y grandes llanadas en sus cumbres, contrasta con lo abruptas que por regla general son las sierras asturianas, circunstancias que han llamado la atención de los geólogos.

Descartemos la hipótesis de los Sres. Bertrand y Mengaud que suponen que las sierras son masas exóticas de areniscas devonianas, cabalgando sobre terrenos modernos, que, como hemos visto, no tiene fundamento.

En realidad las sierras planas están constituidas por areniscas y es lógico que la denudación de las areniscas produzca formas suaves en donde fácilmente arraiguen las turbas y vegetales agrestes.

Ahora bien, en las rasantes que hemos estudiado, vemos que en ciertos parajes las sierras están cubiertas por calizas, tomando formas abruptas, mientras que en otros, han desaparecido por erosión completa, presentándose las areniscas con formas suaves.

Por tanto, podemos admitir que en un principio las altiplanicies constituían anticlinales recubiertos por calizas, las cuales rotas en parte por ablación, allí donde se han arrasado totalmente aparecen las rocas silíceas. Es decir, que la superficie de las sierras planas representan un grado avanzado de erosión, en las rasas montañosas calcáreas, con núcleo de areniscas y cuarcitas.

Omitimos en esta rápida comunicación: los cortes geológicos, los fundamentos de paleontología estratigráfica y el historial de hiatos y movimientos tectónicos.

En resumen, las sierras planas van niveladas desde arriba hacia el mar en cuatro superficies de tendencia plana, por arreglo continental en las demoliciones:

- 1.º Cuera-Turbina, de 1.300 a 1.000 mts. Sinclinales agudos de caliza de Montaña.
- 2.º Sierras aplanadas altas.—Biforco-Grandiella, 500 a 600 metros. Principio de los anticlinales areniscos.
- 3.º Sierras planas, 200 o 250 mts.—Anticlinales en desgaste.
- 4.º Banqueta de 30 a 40 mts., litoral.—Calizas y areniscas hulleras con frecuente recubrimiento creteceo; geográfica y topográficamente, es la misma rasa de la costa gallega.

El reparto horizontal ocupa las bandas en sentido contrario en unos 8 a 10 kms. con anchura, desde el mar de 2 a 4 kms.; en la banqueta primera, sobresaliendo de ella las sierras planas de los 230 m. de anticlinales erosionados; rasa del principio de las calizas altas con 6 a 8 kms. de anchura y las mayores altu-

ras de los agudos sinclinales del Dinantiense se encuentran en las calizas del Cuera con 1.300 m. y alejamiento de 8 a 10 kms. en la total anchura de estas estructuras.

Las rasas, al igual que terrazas labradas en el Mioceno lacustre por los aparatos erosivos cuaternarios, tienen su origen en los movimientos positivos del nivel de base, hacia los montes de origen con sus corridos de sierras paralelas al mar, y así ocurre que los cortos ríos, normales a la orilla, además de violentos y paralelos entre sí, se repartirían con un cierto ritmo, impuesto hacia el mar por la repetición de sus rocas homotónicas, en bandas E. O. y las cuales con sus pliegues semejantes, ligeramente en ángulo con las líneas de orilla y sierra señalan cicatrices de los movimientos de bloques isostáticos y depresiones de rasas subrayadas por las aguas libres continentales y los pseudo glaciarios reunidos y arrastrados desde el Sur montañoso, hacia el mar próximo, produciendo demoliciones, enrasadas después, sobre las bandas de los mismos pliegues, en terrazas, las cuales, niveladas en función de alturas y estratos semejantes, irían produciendo las llanuras en forma de sierras, sobre las bandas de pliegues dalmáticos, terrazas avanzadas al mar con el rumbo de su ángulo, agudo y discordante, en la incidencia con el borde litoral.

El violento alzamiento de bloques agotó los detritus acumulados por los aparatos meteóricos y de este modo los testigos fehacientes de la acción de las aguas continentales, son las superficies planas, labradas en bandas de rocas semejantes y sincrónicas.

Mejor que aventurarnos en denominaciones, siempre algo imaginativas, deducidas de supuestas cronologías y emergencias, creemos preferible conservar las cotas numéricas como señal de los llanos producidos, durante los movimientos del fin del paleógeno hasta el mioceno reciente y el plioceno.



## NOTE PRELIMINAIRE SUR LA FLORE DU VAL D'INFIERNO

POR

W. J. JONGMANS



W. J. JONGMANS

NOTE PRELIMINAIRE SUR LA FLORE DU  
VAL D'INFIERNO (1)

Le Val d'Infierno se trouve dans les environs de Puertollano. Le houiller y affleure et il y a été là une exploitation d'une couche de charbon. Maintenant la mine a été quittée. On y trouve encore des terrils qui ne contiennent pas beaucoup de fossiles. L'affleurement est très grand mais les localités qui peuvent nous fournir des collections sont très rares. Nous avons exploré en plusieurs endroits sans trouver une trace de plantes ou d'animaux. Non loin de la maison il y a dans cette petite vallée l'ouverture d'une galerie qui nous a livré une très bonne récolte. Les roches sont pour la plus grande partie très dures, mais les plantes se trouvent partout. La stratification est très mauvaise, il y a beaucoup de racines, les plantes ont percé les roches en chaque direction. On a affaire à un véritable sol de végétation.

Cette localité nous a fourni:

*Asterocalamites scrobiculatus*.

*Sphenophyllum saxifragaefolioides* (Leyh).

» *geigense* (Lutz).

*Stigmaria stellata* (Goepp).

*Triphyllopteris* cf. *collombiana* ou *minor*.

*Rhodea* cf. *stachei* (Stur).

» cf. *moravica* (Ett).

*Calathiops* sp. (? n.sp.) cf. *plauensis* (Gothl).

---

(1) Valle del Infierno o Valdeinfierno, en español.

En outre nous avons trouvé sur les terrils un échantillon caractéristique de:

*Lepidodendropsis hirmeri* (Lutz).

Il était étonnant de rencontrer ici cette flore. D'après Falco et Madariaga, *Aportación al estudio de los terrenos carbonífero y permiano en España*, «Bol. del Inst. Geol. y Minero de España», LV, 1941, p. 66, Carbonell y a signalé en 1917 *Walchia piniformis*. Se basant sur cette espèce, on a conclu qu'on y a affaire au Permien ou au moins à la partie supérieure du Carbonifère et on a comparé le niveau stratigraphique avec celui de Puertollano. Cette détermination ne peut pas être juste.

La collection contient un grand nombre d'échantillons d'*Asterocalamites scrobiculatus*.

Il y a des parties basales de grandes tiges, qui montrent la forme conique, Les côtes sont assez larges et n'alternent pas aux internoeuds. Le surface est finement strié. Dans la partie inférieure de quelques côtes on peut observer des tuberoles allongées. Les internoeuds sont beaucoup plus larges que hauts. Il a aussi plusieurs fragments des parties plus hautes, dont les internoeuds sont beaucoup plus hauts. Les tuberoles y sont très distinctes. En outre il y a nombre de tiges qui ont aussi des internoeuds assez hauts mais dont les côtes sont beaucoup plus étroites.

Nous n'avons trouvé qu'un seul échantillon de *Lepidodendropsis hirmeri*. Cet échantillon n'a pas été trouvé à l'endroit où nous avons recueilli les autres, mais sur un des terrils anciens. Il nous prouve, qu'il sera possible de faire encore d'autres récoltes, qui probablement appartiendront à d'autres espèces. Cet échantillon est identique aux exemplaires que Lutz a décrits de l'Allemagne et que nous avons trouvés dans les Etats Unis.

La collection contient un grand nombre d'exemplaires de

*Sphenophyllum*. Malheureusement la plupart est fragmentaire et dans beaucoup de cas les petites feuilles sont cachées dans la roche et ne peuvent pas être préparées.

La plupart des échantillons appartiennent au *Sphenophyllum saxifragaefolioides* (Leyh) comme cette espèce a été figurée par Lutz. Les feuilles sont profondément divisées en deux segments. Ces deux segments sont divisés encore une fois. C'est une espèce très caractéristique.

D'autres échantillons ont des tiges plus étroites, qui sont distinctement articulées et qui montrent des côtes très prononcées. Il semble que les feuilles sont beaucoup plus délicates, Lutz l'appelle *S. geigense* et le décrit provisoirement comme espèce nouvelle. Il dit qu'il n'est pas impossible qu'il s'agit d'exemplaires jeunes du *Sph. saxifragaefolioides*, mais d'après la texture des échantillons cela ne me semble pas probable.

Une partie des roches examinées montre les caractères d'un sol de végétation et contient des rhizomes et des appendices de *Stigmaria*. La plupart des rhizomes ne montre pas de détails. Nous avons trouvé une impression d'un rhizome qui correspond en plusieurs détails avec *Stigmaria stellata* qui est caractéristique pour le Carbonifère inférieur.

Parmi les Fougères (ou Pteridospermées) une *Triphylopteris*, dont les pinnules sont divisées en trois lobes, est très commune. Quoique la plupart des échantillons est assez fragmentaire on peut les comparer aux *Triphylopteris* du Pocono des Etats Unis, surtout avec *Tr. minor* etc, quoique moins, avec la *Triph. collombiana*, chez laquelle la division en trois segments des pinnules est beaucoup moins claire.

Il y a aussi quelques exemplaires d'une *Rhodea* très tendre avec des segments ultérieures très fins presque capillaires et divisés plusieurs fois en deux. Ces exemplaires peuvent être

comparés avec *Rhodea stachei* (Stur) et ressemblent aussi un peu à *Rh. tenuis* (Gothan).

Quelques autres échantillons qui sont assez mal conservés peuvent être comparés avec *Rhodea moravica* (Ett).

Il était très intéressant de rencontrer des exemplaires d'une *Cathiops*. Ils existent d'une axe forte ramifiée. Les rameaux portent des organes divisés en filaments, qui sont divisés encore une fois, et sont gonflés un peu à leur fin. L'ensemble fait l'impression de cupules ou plus tot des corbeilles. Les filaments sont finement striés ou fibrilleux.

Il me semble que nous avons affaire à des fructifications de *Pteridospermées* nommées *Calathiops*. Plusieurs espèces de ce genre provisoire ont été décrites du Carbonifère inférieur. On peut comparer les échantillons avec les espèces décrites par Gothan (*Ueber einige Kulmpflanzen von Kossber bei Plauen* i. v.), par Lutz (*Zur Kulmflora von Geigen bei Hof*) et par Walton (*Contributions to the knowledge of Lower Carboniferous plants*, III). L'espèce qui ressemble le plus est *Calathiops plauensis* (Gothan.)

Cette flore est caractéristique pour le Carbonifère inférieur et ressemble beaucoup à celle décrite pour le Pocono en Amérique du Nord (Jongmans, Gothan, Darrah, *Beiträge zur Kenntnis der Flora der Pocono Schichten aus Pennsylvania und Virginia*, C. H. 2. Congrès Stratigraphic carbonifère, Heerlen 1935, p. 423, 1937), et aussi avec la flore de Geigen près de Hof en Allemagne du Sud, décrite par Lutz (*Palaeontographica*, LXXVIII B, 1933, p. 114) et celle du Kossberg décrite par Gothan (*Abhandlungen des Sächsischen Geologischen Landesamts*, 5, 1927).

Il me semble que les conditions tectoniques sur place sont assez compliquées et il sera nécessaire de faire des études dé-

taillées pour être sûr si le terrain entier appartient au carbonifère inférieur ou non. Il sera aussi nécessaire d'essayer d'obtenir de plus grandes collections des plantes fossiles en plusieurs endroits. La découverte de *Lepidodendropsis* sur le terril nous montre que d'autres gisements avec des flores doivent être présents.

Heerlen, 20 Juillet 1949.

RESEÑAS  
Y NOTAS BIBLIOGRAFICAS

CARANDELL PERICAY (J.): *El Bajo Ampurdán. Ensayo geográfico.* «Bol. Univ. Granada». Granada, 1945.

En este trabajo, bien desarrollado, Carandell nos describe física y humanamente su tierra natal, el Bajo Ampurdán, pequeña comarca natural, una de las más típicas y bellas de Cataluña.

Comienza el autor enseñándonos cómo se llega a la comarca gerundense y cómo se recorre, para así poder decirnos lo que es y significa tal país.

Analiza a continuación su morfología, destacando los macizos montañosos del Montgrí al N., aislado e independiente, y los de Las Garrigas y el Celebándico, muy afines por su edad y constitución geológica. Los tres son relieves muy acabados hercínicos, modificados por la orogenia alpídica. Entre tales macizos destacan las depresiones, Valle del Ter, con su llanura de inundación. Valle del Ridaura, y el corredor de Palamós que los une, conjunto que da cierta variedad al país, que ofrece gran diversidad geológica, bien sintetizada por el autor mediante bloques, diagramas y cortes geológicos.

Analiza a continuación los ríos y las cuencas epilacustres que caracterizan a los llanos, dándonos pormenores del régimen fluvial.

El litoral está estudiado morfológica y tectónicamente, Costa Brava, de gran variedad, pues «reúne de todo y de todas edades».

Se analiza con detalle el «tono» climatológico, pues es factor, para el autor, fundamental en el ambiente del Bajo Ampurdán, que se distingue por ser país ventoso, siendo los tres fundamentales vientos el del N. o Tramontana, el del E. o Levante y el Garbi o Mitjorn, meridional, pero hay que indicar que en la región son conocidas al menos 16 denominaciones diferentes para otros tantos vientos, más o menos frecuentes.

El estrato vegetal natural, ya muy desnaturalizado, se analiza sintéticamente, destacando el matorral o «garriga», así como los restos de masas de arbolado. También se indica sucintamente algo sobre la fauna del país.

De este modo el autor nos ofrece el ambiente natural, el necesario marco fisiográfico, para comenzar el estudio humano, iniciándolo con el paisaje, es decir, cómo es y está poblado el Bajo Ampurdán, dándonos la densidad del país, siempre muy elevada, iniciando a continuación el estudio de las aglomeraciones humanas o ciudades, así como el desarrollo histórico de las mismas.

Interesante es el análisis que se hace de la vivienda urbana y del «más» o casa campesina, estudio que se lleva a cabo con gran detalle.

En la tercera parte, se analiza la minería y la cantería, la pesca y sus artes y las industrias, fundamentalmente la corcho-taponera, de gran importancia, haciéndose también el estudio de los puertos de San Feliú y Palamós.

Se detiene en el análisis de la trashumancia pastoril y en el estudio de los productos del agro y de su circulación, describiendo y analizando la propiedad rural, que se caracteriza por el minifundio.

Finalmente, trata del ampurdanés, socialmente considerado, destacando el alto índice cultural de la comarca, que es, sin duda, uno de los más elevados de España.

El trabajo de Carandell es, pues, más humano que físico, y pese a ser el autor distinguido geólogo, ha sabido orientar el estudio de tal modo, que puede servir de ejemplo a seguir para cualquiera que intente hacer un trabajo de Geografía humana.—H.-P.

TORRES DE ASSUNÇÃO (C. F.): *Sobre o granito de conglomerado antrocolítico do Moinho da Orde*. «Bol. Soc. Geol. de Portugal», vol. VII, fascículo III. Oporto, 1948.

Se trata del estudio de cantos graníticos aparecidos en los conglomerados de las formaciones carboníferas del Molino de la Orde, en el Alemtejo, encontrados en los testigos de sondeos allí efectuados y que corresponden al Westfaliense superior (D).

Se trata de un granito de grano medio, no porfiroide, con ortosa abundante y muy alterada y de albita, algo menos alterada, abundante cuarzo en secciones grandes y granulada. Existe algún resto de biotita muy alterados y algunas pajitas de moscovita. Existen agujas de zircón.

Su textura es cataclástica.—H.-P.

DEFFONTAINES (P.): *El Mediterráneo. Estudio de Geografía humana*. Editorial Juventud, S. A. Primera edición. Barcelona, 1948.

El prefacio y la versión española se deben al ingeniero M. Ferrer de Franganillo, quien presenta y traduce el libro con acierto y maestría.

Deffontaines nos ofrece un estudio sintético y conciso del Mediterráneo, el mar abrazado por un anillo de montañas calizas, los calares de nuestro Levante, que ofrecen casi siempre los mismos ambientes y paisajes.

El mar, cicatriz áspera, en medio de los relieves alpidicos, que, pese a su no gran extensión, nos ofrece honduras de más de 4.000 metros.

En los diferentes capítulos se analiza la génesis, el carácter y la

morfología de sus costas, así como los rasgos fundamentales de la red fluvial que vierte en el mar, que sólo domina o influye en las tierras que lo rodean, en una faja estrecha, que pronto pierde su carácter al presentarse otros conjuntos, mesetas seniles, penillanuras, o planicies cerradas y aisladas en el interior del dominio continental.

Este mar no es continental, ni epicontinental, como otros «Mediterráneos», sino intercontinental, o sea Mediterráneo propiamente dicho.

De él se hace breve estudio paleogeográfico y físico, destacando muy especialmente el carácter peculiar de su clima y el influjo que tiene en las tierras que lo rodean, que al ser montañosas, acentúan los contrastes térmicos entre la costa y el interior; determinando además un régimen especial y peculiar de lluvias, que se refleja en las peculiaridades de su vegetación, pobre en arbolado y con típica masa de matorrales, es decir, vegetación regresiva, en la que sólo a veces aparecen islotes de bosques residuales.

A partir del capítulo IV, se trata del hombre, de su llegada a este mar, que vino a ser lugar de convergencia de las culturas neolíticas.

Se describe bien la agricultura, especialmente la de secano, que impera en las quebradas tierras que lo rodean, destacando Deffontaines la trilogía agrícola, trigo, viña, olivo, así como la intensidad del trabajo humano, que se ejecuta con instrumental arcaico y que sólo se hace francamente productivo, pero siempre a costa de constante trabajo en las zonas irrigadas, huertos y huerta, que alejan de la mente humana el terrible temor a las «seccas»; por ello, el agua en el ambiente mediterráneo, la de lluvia, la corriente y la de fuente o manantial, es obsesión del hombre.

Interesante es también el capítulo VII. La lucha del pastor contra el agricultor, debidas a los dos tipos de vida fundamental humana, la sedentaria y la nómada, con las emigraciones obligadas de ésta, trashumancia.

Los géneros de vida marítimos, pescadores, marineros y piratas, que se estudian en el capítulo VII, hacen ver que la Humanidad se acumuló alrededor del mar, alcanzando, a veces, la población densidades extraordinarias; pero el hombre que vive alrededor del Mediterráneo, no es francamente pescador, pues la fauna de este mar es pobre, ni marinero, haciendo a la navegación primitiva gran competencia los transportes terrestres.

Se estudia la casa y la ciudad mediterránea, y la antigua industria artesana, que es la que ha dominado en sus ciudades; salinas, tejidos de lana y seda, tintes y aceite.

Finalmente se trata de los puertos del Mediterráneo, Bósforo y Dardanelos. Canal de Suez y Gibraltar. Así como la futura vía Rin-Ródano, o salida hacia el Norte, para alcanzar un poco artificialmente la Europa Central Occidental. Terminando este interesante libro con el capítulo XIII, función y porvenir del Mediterráneo, mar donde se engendró

nuestra civilización y cultura, que puede decirse, con Deffontaines, que ha «mediterraneanizado» al mundo.

Este libro, de tan sólo 237 páginas, se lee con agrado, y es, sin duda, para el hombre culto, una gran ventana a los problemas del viejo Thetys.—H. P.

CALENDARIO METEORO FENOLÓGICO. Servicio Meteorológico Nacional. Madrid, 1949.

Como en años anteriores, este calendario contiene datos de interés astronómicos, dándose en él normas en relación con los estudios fenológicos, de los que se publican ya algunos mapas fenoscópicos relativos a floraciones del almendro, caída de la hoja de la vid y llegada de las golondrinas y cigüeñas, del año agrícola de 1948. Se hace también una descripción del tiempo a lo largo del último año transcurrido (septiembre 1947-septiembre 1948), adjuntándose algunos gráficos y cuadros meteorológicos de interés.

También se da un resumen de las características meteorológicas de España en cada mes del año.

Finalmente, y con el carácter de divulgación, se trata de la atmósfera, indicándonos algunos sondeos areológicos efectuados en años anteriores. Se trata de una publicación interesante, de destacada utilidad.—H.-P.

LLOPIS LLADÓ (N.): *Etudes de tectonique sur les Alpes d'Espagne*. «Bol. Soc. Geol. de Portugal», vol. VII, fasc. III. Porto, 1948.

Se trata de un ensayo para aplicar a la arquitectura de los conjuntos sedimentarios, los métodos tectónicos que Cloos y Balk aplicaron a las estructuras de los macizos eruptivos, tratando, como ya el autor anteriormente hizo (Ll. Lladó, *Sobre las posibilidades de aplicación al estudio estructural de los métodos de microtectónica*. «Bol. Soc. Geol. Portugal», vol. IV, fasc. I-II. Porto, 1944), de reconocer estilos de microtectónica en el sentido de la «Klientektonik» de los alemanes, comprendiendo tanto la tectónica interna, como la profunda de Demay.

El autor estudia determinadas unidades tectónicas, cada vez de complejidad mayor, tratando así de ver las relaciones que puedan existir entre la tectónica propiamente dicha y esta otra microtectónica, tratando de llegar a una sistemática de microtectónica, paralela a los estilos tectónicos de las montañas, cuyos primeros ensayos parecen han dado resultados positivos.

Se trata en este trabajo, de tres unidades alpidicas de más en más

complejidad; zona del alto Valle del Aragón, la Sierra de Mallorca y la Sierra de Baza en el complejo Bético, haciendo al final una comparación con la estructura de Las Pedritxes, cerca de Barcelona, donde domina el antipais alpidico.

En los diagramas se han utilizado los métodos de proyección estereográfica, así como la proyección cilíndrica de Phillip.

Las conclusiones que el autor saca del estudio efectuado en el alto Valle del Aragón son de interés, tanto locales como generales, observándose una relación directa entre la tectónica propiamente dicha y la microtectónica, pues los rasgos de la red de diaclasas, se adaptan patentemente al estilo jurásico de la región, así como la *sensibilidad* de los microaccidentes, respecto a las grandes dislocaciones.

La historia alpidica de la región puede, según el autor, resumirse en tres fases: 1.ª, plegamiento preparatorio con estilo jurásico; 2.ª, fase de diaclasación, y 3.ª, formación de la falla marginal de los cabalgamientos de Collada y de Villanúa y de las micro y meso-fallas de Tortiellas, La Molita y Collarada, sensibilidad acentuada en la zona de sedimentos plásticos del macizo de La Molita.

En relación con la escama de San Miguel (Sierra de Mallorca), estudiada por Fallot el autor llega a la neta correlación entre la tectónica y la microestructura, pero debiendo eliminarse los sistemas de leptoclasas que pudieran ser anomalía pretectónica. En este caso, el sistema se desarrolla de acuerdo con la estructura de los plegamientos de Mallorca. Respecto a la gran movilidad de las diaclasas y a su gran declinación, es necesario tener en cuenta el carácter rígido de las calizas triásicas.

En el borde septentrional de Sierra Nevada, después de un análisis detallado, como en los casos anteriores, de la geotectónica de la región, el autor llega a los siguientes resultados: En esta zona existe un conjunto de actinitas muy potente, que abrazaría las capas de micaesquistos y de esquistos granatíferos, existiendo probablemente en tal serie, plegamientos hercínicos, o al menos paleozoicos, volcados hacia el Sur y con estilo isoclinal o imbricado. En el borde S., aparece un plegamiento alpidico denunciado mediante pliegues muy acortados con volcamiento meridional, dando origen a un sistema imbricado en el que las calizas triásicas juegan como elementos rígidos, mientras que los esquistos cristalinos y las focas margoso-yesosas del triásico, lo hacen como elementos plásticos.

Este conjunto ofrece microestructura muy compleja, con fenómenos de dinamometamorfismos, zona denominada «Mischungzone».

Por ello se puede apreciar, como el macizo antiguo de Sierra Nevada ha actuado como antepais de un plegamiento alpidico, cuya cuenca de origen estaría localizada al N., y donde los accidentes de Alquife y de Dilar serían pliegues marginales.

Como conclusión general, Llopis Lladó indica que de los tres macizos estudiados, en el del Alto Valle del Aragón y en el de la Sierra de Mallorca, se aprecia claramente la «correspondencia entre la macro y la microtectónica». En la tercera zona o borde septentrional de Sierra Nevada, la interpretación es dudosa por los métodos clásicos, no pudiendo sacarse consecuencias tectónicas.

En los tres ejemplos se apreció siempre, los mismos sistemas de orientación que son muy semejantes. Conforme aumenta la complicación, sistemas satélites hacen su aparición, pudiendo ser que éstos sean *planos axiales satélites*, que introducen así una microestructura secundaria, en el conjunto de la microestructura general.

Como ejemplo muy claro, cita el autor la red de leptoclasas de Campanet. Se trata de un trabajo de interés, que debe ser proseguido en otras regiones, con la misma idea perseguida por el autor.—H.-P.

JERÉMINE (E.): *Nouvelles données sur l'âge des granites portugais*. «Bol. Soc. Geol. de Portugal», vol. VII, fasc. III. Oporto, 1948.

Se hace destacar que por estudios recientes, los granitos portugueses considerados hasta hace poco como hercínicos y debidos a una sola intrusión, son de edad diferente. Se admitía, en general, que el metamorfismo afectaba a los terrenos silúricos y estefanienses inclusive.

En 1946, C. Teixeira publica en los «C. R. de la Soc. Geol. de France», una nota indicando que en el conglomerado del Estefaniense medio, existían cantos rodados de granito. Posteriormente, el mismo autor reconoce depósitos de arcosas, en la misma formación, y guijarros graníticos en el conglomerado del Autuniense inferior de Buçaco P. Birot indica que en Corbelo de Vide, un pequeño afloramiento granítico, queda cubierto por depósitos silúricos.

Se admite, pues, que en Portugal hay granitos antisiliurianos, antiestefanienses y postestefanienses. Interesa en la actualidad diferenciar en el terreno estos granitos, aparentemente de intrusiones diferentes.

El antisilúrico, parece especie diferente que los que existen en el N. de Portugal. Está formado por artosa, sin plagioclasa, es microgranítico y aparece intensamente alterado. Los otros granitos, del N. de Portugal y Galicia, son tan semejantes que parecen provenir de una sola intrusión.

El gran manchón del N. de Portugal ha sido estudiado por varios petrógrafos destacados, y, en general, se trata de una roca subcalina o calcoalcalina con una o dos micas, frecuentemente con turmalina y a veces granates, y frecuentemente con microclina y ortosa, asociada a la oligoclase, siendo su estructura porfiroide o granítica.

En el caso de los cantos encerrados en el conglomerado estefaniense, es-

tán muy alterados y no parecen contener biotita, ni clorita, siendo, pues, una variedad de moscovita y ortosa.

En los cantos del conglomerado del Autuniense de Luso, existen dos tipos: uno, es una pegmatita gráfica; el otro, es un granito de grano fino de dos micas con turmalina.

El del relieve de Santa Cristina es un granito con dos micas y microclina y granito con ortosa y moscovita o con dos micas y turmalina.

Es necesario, según el autor, un estudio petrográfico metódico de los contactos y del metamorfismo debida a las pretendidas y diferentes intrusiones.—H.-P.

REY PASTOR (A.): *Los fenómenos sísmicos de Elche, de agosto a noviembre de 1947*. Instit. Geog. y Catastral. Madrid, 1948.

Se estudia en este trabajo un interesante período sísmico, que si bien no fué intenso, sí ha permitido obtener un gráfico que ha podido definir la situación de las superficies de discontinuidad principales en el suelo, y que ha demostrado que se puede seguir empleando las tablas de Mohorovicic, para determinar las reflexiones en la superficie de dicho nombre, situada aproximadamente a unos 51 kms. de profundidad en la zona alicantina.

El foco sísmico se encuentra en la base del conjunto sedimentario, y quizá más probablemente en la zona superior de la granítica, correspondiendo dicho foco al núcleo Aspe-Elche, situado en la línea microtectónica del Vinalapó, línea de fractura que presenta su máxima intensidad en sus dos extremos, al N. en Villena, en el cruce con la línea sístima de Salina-Biar, y al S., en el núcleo Aspe-Elche, en el enlace de la línea Crevillente-Cabo de San Martín.

Esta línea del Vinalapó es activa y de frecuencia media, pero no se conocen choques destructores.

El espesor de las capas sedimentarias y plutónicas en esta zona, es grande, como debe corresponder a una zona intensamente plegada por tectónica alpídica.

El autor, mediante el estudio sismológico y el reconocimiento de las zonas plutónicas, va determinando las líneas inestables y su significación geológica, pudiendo haber comprobado la influencia que las líneas de fractura ejercen en la propagación del movimiento, que es favorecido cuando coincide con el sentido longitudinal del accidente tectónico y amortiguándolo en el transversal.

El autor, con razón, indica que la sismología es un gran auxiliar de la geotectónica, pues como elemento de prospección natural, es insustituible.—H.-P.



REY PASTOR (A.): *Las costas mediterráneas de la Península Hispánica. Estudio sismográfico.* «Rev. Geofísica», núm. 26, Cons. Sup. de Inv. Cient. Madrid, 1948.

Hace destacar el autor la relación íntima que guardan entre sí los estudios geofísicos con los fisiográficos, pues con frecuencia la línea de costa está determinada por accidentes tectónicos, siendo límite entre compartimientos diferentes de la corteza terrestre, siendo por ello de interés estudiar tanto las zonas hundidas bajo el mar, como las que quedan, dando origen al litoral.

De tal modo, el Mar de Alborán no es sino una bóveda hundida, correspondiendo el segmento litoral de Málaga a Cabo de Gata, a un gran desgañe del Sistema Bético, ofreciendo tales parajes coeficiente sísmico muy acentuado.

El litoral de Murcia, Alicante y Valencia, queda determinado por óvalos de hundimiento—los óvalos Mediterráneos—, de traza circular, que jugaron entre la masa peninsular, Marruecos y las Baleares.

La costa catalana queda influenciada muy directamente por el hundimiento de la costa catalana-balear, marcándose, especialmente destacada la gran falla de la costa de Garraf, de sismicidad frecuente.

Los hundimientos en estas costas están marcados por trazos rectilíneos que coinciden con fracturas superficiales que afectan a macizos arcaico-cristalinos-craógenos. Mientras que los circulares u ovalados corresponden a compartimientos profundos hundidos de naturaleza cristalina. Las fracturas profundas rectilíneas se han modificado en superficie, debido a fenómenos de rehundimiento embudiformes sufridos por la cobertera secundario-terciaria.

En la costa alicantina, el autor ha podido determinar el trazado de los diferentes bloques corticales, mediante la determinación de epicentros submarinos.

Un cuadro de los epicentros de la costa mediterránea conocidos y un mapa sismotectónico, complementan el trabajo.—H.-P.

VIDAL BOX (C.): *Noticia acerca de un yacimiento petrolífero en Chinchilla de Monte Aragón (Albacete).* «Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat.», tomo XLV, núms. 5-6. Madrid, 1948.

Se conocen desde hace ya tiempo la existencia de rezumos de aceite mineral, en las inmediaciones de esta localidad, lo que ha motivado cierto interés científico y estudios de las formaciones geológicas.

El afloramiento de Chinchilla está localizado en un pozo, situado dentro del pueblo, más o menos en relación con niveles areniscosos del Cretáceo.

Se describe la geología comarcal, deduciéndose los datos de los diversos trabajos efectuados por el Instituto Geológico y Minero de España, haciéndose al mismo tiempo una descripción morfológica del país.

La formación geológica, fundamentalmente está representada por el Infracretáceo, que casi está horizontal, pues sólo buza unos 10° hacia el N., dándose un corte geológico sintético, que alcanza potencia superior a los 550 m., estando representado el Infracretáceo y el Jurásico.

El conjunto da origen a una amplia bóveda, en gran parte desmantelada por la erosión, poniéndose al descubierto la discordancia entre ambos horizontes geológicos.

Respecto a la presencia del petróleo, el autor admite dos supuestos: ser la formación infracretácea la originaria del afloramiento petrolífero, siendo en este caso el yacimiento de Chinchilla muy semejante al de Garrucha (Almería), siendo rocas madres, las arcillas rojas y verdosas que forman la base. El yacimiento, por lo tanto, sería primario, y dando origen a bolsadas. También se admite por el profesor Vidal Box que la infraestructura jurásicotriásica, pudiera ser originaria del fenómeno petrolífero.

Se estima que no dejaría de ser interesante la comprobación geofísica del supuesto anticlinal mesozoico, con el que están relacionadas las citadas exudaciones petrolíferas.—H.-P.

CABAÑAS RUEGAS (F.): *Resumen fisiográfico y geológico de la Serranía de Cuenca.* «Rev. de la R. Acad. de Ciencias», t. XLII. Madrid, 1948.

El autor ha recopilado los trabajos, no numerosos ni muy importantes, que se refieren a la región, y resume lo que tal zona representa fisiográfica y geológicamente en la submeseta del Tajo.

Se destacan los elementos morfológicos fundamentales, la meseta caliza mesozoica, que da lugar, en general, a una plataforma estructural en la que se ha encajado la red fluvial. Zona típica de tal unidad son Los Palancares. Termina tal plataforma hacia el W., hacia donde se inclina suavemente mediante un pliegue en rodilla, correspondiendo a otro accidente semejante el límite oriental que da origen a las sierras de Tragacete, Montes Universales y la cuerda que culmina en la Cabeza de Don Pedro.

Los ríos se han encajado en el país, debido al hundimiento que experimenta la fosa del Tajo, que hace así variar su nivel de base local, provocando un ahonde en los niveles calizos muy apropiados por el proceso cárstico, originándose así las «hoces».

El trabajo resume los rasgos más fundamentales de las formaciones geológicas, tratándose; además, de las peculiaridades orogénicas y de la

evolución geomorfológica del país, que se propone estudiar el autor con detenimiento.—H.-P.

DA MENEZES ACCIAISUAOLI (L.): *A hidrologia portuguesa a na va infâcia. A valiosa actuação da Academia.* «Mem. Acad. Cienc. Lisboa. Classe de Ciências», t. V. Lisboa, 1948.

En este discurso, el ingeniero Acciauli destaca la importancia de las aguas minerales, haciendo un análisis histórico de cómo fueron aprovechadas, desde los más remotos tiempos, indicando con qué acierto y maestría muchas fueron captadas, destacando cómo ya desde el siglo XII eran conocidas en Portugal manantiales termales, tal es el de Lafões.

A partir del siglo XVII, muy fértil en publicaciones, la hidrología portuguesa no cesa de progresar, citándose innumerables trabajos a este respecto.

El autor distingue hasta cinco diferentes periodos en el progreso constante de estos conocimientos, terminando el cuarto a fines del siglo XVIII e iniciación del XIX, y comenzar el verdadero proceso científico, bajo la égida de la Academia das Ciências, que inicia el quinto y último período, que con el apoyo de destacadas personalidades, ha llevado a la hidrología de Portugal, en estos últimos tiempos, a alcanzar un puesto destacadísimo.

Se trata de un trabajo sintético de gran interés para la historia de la hidrología y crenología de Portugal.—H.-P.

LOPEZ AZCONA (J. M.): *Las aguas mineromedicinales de la provincia de La Coruña.* Actas del Congreso Luso-Espanhol de Hidrología, Ministerio da Economia. Lisboa, 1947.

En este trabajo se hace la reseña de las aguas mineromedicinales hasta ahora conocidas en la indicada provincia, las que se han agrupado en cuadros y estados, indicándose en un mapa la posición de los manantiales. En el primer cuadro, se indican las denominaciones; en el segundo, la situación de cada uno; en el tercero, el caudal y uso médico, así como algunas de las constantes físicas—temperatura, radiactividad y pH—; en el cuarto, figuran los análisis químicos efectuados por el ingeniero señor Menéndez Puguét, figurando en el estado quinto, las valoraciones espectroquímicas de los elementos, que sólo se encuentran en determinadas aguas.

El señor López Azcona divide los diversos manantiales en dos grupos: los ferruginosos y los situados al N. de la provincia, sin distribución determinada, y los que se agrupan en líneas más o menos marcadas, dando origen, en conjunto, a una alineación más septentrional, que va desde

el N. de Carballo a Guitiriz, siguiendo la línea sismotectónica delimitada en sus extremos por los epicentros de los seismos del 7 de noviembre de 1911, y la segunda meridional, y que pudiera estar integrada por la asociación de otras líneas secundarias, destacando la que sigue el Valle del Ullá y que pasa al S. de Pardíñas y Guitiriz, limitada al S. por el epicentro del seísmo del 12 de diciembre de 1930, y otra que sigue el Valle del Tambre y que se une al extremo N. de la anterior y que queda marcada por un gran número de epicentros. Ambas fracturas son importantes, estando a su vez cortadas por otras normales a ellas.

De los manantiales reseñados, en total 50, sólo cuatro son establecimientos oficiales: Arteijo, Baños Nuevos de Carballo, Baños Viejos de Carballo y Baños de los Angeles.—H.-P.

VIANA (A.): *Paleolítico dos arredores de Beja e do litoral Algarvio. Zona de sotavento.* «Sep. Rev. Broteria», vol. XLV, fasc. 7. Lisboa, 1947.

En este trabajo se estudian una serie de yacimientos paleolíticos en la zona meridional portuguesa, además de los existentes a lo largo del Guadiana y en ambas márgenes y a unos 5 kms. del lecho actual y de las estaciones del litoral, ya estudiadas por Breuil, O. Ribeiro y Zbyszewski, donde existe una amplia zona alrededor de Beja, donde la industria paleolítica es abundante, aun cuando diseminada a altitudes comprendidas entre 130 y 225 metros. En tal industria de cantos de cuarcita, cuarzo y jaspe, dominan los tipos del Achelense superior y otros de tipo Musteriense.

En la costa del Algarve también aparece industria paleolítica, ocupando restos de terrazas cuaternarias, bien marinas o fluviales, a altitudes comprendidas entre 8 y 49 metros. En esta industria, los tipos son también del paleolítico Achelense superior, y Musteriense.—H.-P.

GARRIGA (J.): *Cap. de Creus, Roses-Cadaqués, Port de la Selva.* Guías monográficas. Editorial Alpina. Primera edición. Barcelona, 1948.

Se describe bien y con detalle el promontorio del Cabo de Creus, zona de características montañosas y costas de las de mayor belleza del territorio español.

El autor, gran conocedor de la comarca, nos la describe con cariño y maestría, invitando su lectura a recorrer estos interesantes paisajes de la tierra catalana.

Se analizan primero las zonas montañosas, dando datos hidrográficos, topográficos y geológicos, pasándose después al litoral, en donde se estudia los rasgos de geografía humana.

Los itinerarios, agrupados en excursiones, muy bien elegidos, hacen que la guía sea de gran utilidad.

Está complementado por suficiente ilustración gráfica.—H.-P.

FLORES MORALES (A.): *Atlas Sus-Dra*. Instituto de Estudios Africanos. Cons. Sup. de Inv. Cient. Madrid, 1948.

Se pretende por el autor dar a conocer en sus líneas generales, en sentido geográfico-histórico-político, las características de estos países, que en parte han sido recorridos por el autor.

Comienza hablando de la costa atlántica y el mundo antiguo, apoyándose en datos y relatos de autores diversos. A continuación se describe sucintamente el Atlas, así como su geología, «de pasada, más bien como simple recordatorio, como el autor nos indica. Se trata también de los zocos y poblaciones.

Trata después del Sus, dándose algunos datos geográficos de tal región, de la vida humana y de su economía.

Finalmente, se describe geográfica-históricamente el Alto Draa.

El librito es un estudio sencillo y superficial, en el que se ha intentado compendiar los trabajos que hoy existen sobre tan variadísimos y amplios territorios.—H.-P.

PRIMER CONGRESO LUSO-ESPAÑOL DE HIDROLOGIA. Actas, Aluções-Comunicações. Ministerio da Economia. Lisboa, 1947.

Da origen esta publicación a un magnífico tomo que contiene todos los trabajos presentados a este certamen científico.

Es de lamentar que a poco de clausurarse tal Congreso, falleciese el doctor Armando de Cunha Narciso, miembro de Honor de este Congreso y director del Instituto de Hidrología y Climatología de Lisboa.

En la primera página, el ingeniero Acciaiuoli (L.) hace la nota necrológica de tan destacada personalidad científica, cuya muerte tan tristemente afectó a todos los que con él convivimos durante días que duró la reunión científica.

En las siguientes páginas se hace reseña de las Comisiones, de los miembros de honor, de la presidencia del Congreso, Delegación española, Comisión organizadora y de recepción, así como de las distintas representaciones que asistieron a los actos.

Siguen los discursos pronunciados en el solemne acto inaugural por el presidente del Congreso, profesor don Antonio Pereira Forjaz, y el del presidente de la Delegación española, doctor don Víctor Cortezo, así como los que se pronunciaron en la sesión de clausura por el ingeniero de Minas doctor J. M. López Azcona; por el presidente de la Delegación española, doctor don Víctor Cortezo, y por el vicepresidente del

Congreso, profesor doctor Alfredo Moreira de Rocha Brito. Seguidamente se publican las conferencias que tuvieron lugar durante el Congreso, así como las saluciones dirigidas a los señores congresistas en los diferentes balnearios y actos oficiales, viniendo a continuación las actas de las sesiones, indicándose las presidencias de las mismas, así como la lista de las comunicaciones presentadas que fueron 43, cuyas reseñas, por separado, se comentan en nuestro BOLETÍN.

Al final, el ingeniero señor Acciaiuoli da cuenta del fallecimiento del ingeniero don Antonio Bernardo Ferreira, miembro de la Comisión de Estudios de la Sección de Geología y compañero en las tareas del Congreso.—H.-P.

MAIA (Celestino): *A primeira descrição geológica de Geréz*. Actas del Congreso Luso-Espanhol de Hidrologia. Ministerio da Economia. Lisboa, 1947.

Estas importantes caldas portuguesas están situadas en un profundo valle tectónico erosivo de la sierra granítica de Geréz, siendo varios los manantiales que brotan a lo largo de una falla orientada hacia los 10° y abierta en terrenos graníticos, en el mismo valle del río Geréz.

Todas las aguas son termales, pues las de la fuente de Bica alcanzan los 42,50° C. e hiposalinas (281,77 mgrs. de residuo fijo por litro), siendo del tipo bicarbonatadas sódicas y liticas silíceas fluoruradas sódicas y ligeramente arsenicales y muy radiactivas (175,4 milimicrocuries por 10 litros).

Hace el autor una recopilación que de los conocimientos de la Sierra de Geréz se tienen, indicando que aún no existe un detenido estudio geológico sistemático de este gran macizo granítico, uno de los más principales de Portugal, indicando que el trabajo más completo de la región, es el publicado por P. Choffat, en 1895.—H.-P.

CUSTORIO DE MORAIS (J.): *Agua mineral de Portugal, sua composição e origen*. Actas do Congresso Luso-Espanhol de Hidrologia. Ministerio da Economia. Lisboa, 1947.

El autor hace destacar cómo la composición química de las aguas está en armonía con los rasgos geológicos, especialmente tectónico del lugar donde nacen, indicando que las aguas mineromedicinales de la península son diferentes, según surjan en el macizo Hespérico o meseta, en las orlas secundarias o en las cuencas terciarias.

En el primer caso, brotan siempre siguiendo fallas más o menos patentes, proviniendo, por lo tanto, el manantial de gran profundidad. De éstos se dan sus fundamentales características geoquímicas y composición,

indicándose la génesis que tales aguas pueden tener, con algunos ejemplos de los más típicos.

Relaciona también la mineralización de las aguas con la tectónica, tomando para ello como base las observaciones de Freire de Andrade, deduciendo que los nacimientos están más ligados a las fracturas que al carácter geológico de la región, influyendo en los caudales y en el número de los manantiales, la altitud relativa del país en que brotan las aguas. Así, pues, el conjunto de caracteres de las aguas mineromedicinales, está dado por un conjunto de causas, siendo en muchos casos las aguas procedentes de los magmas al mezclarse con los que proceden de la superficie, los que dan el carácter fundamental al manantial.—H.-P.

MELÉNDEZ Y MELÉNDEZ (B.) y HEVIA DE MELÉNDEZ (I.): *Consideraciones sobre la tectónica del Paleozoico aragonés*. «Las Ciencias». Ann. Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias, año XIII, núm. 2. Madrid, 1948.

Se estudia una zona aragonesa, en los límites de Zaragoza con Teruel, donde por datos paleontológicos se ha fijado la edad de los terrenos Cámbrico, Silúrico y Devónico, que forman el núcleo montañoso del país.

En el actual estudio se llega a conclusiones tectónicas de interés, pues parece que predomina en la región la de tipo Caledónico, si bien influenciado por la posterior variscica.

Se deduce que, al finalizar el Silúrico, experimentó el país una elevación en masa, que determinó un corto período de emersión, seguido de la transgresión que marca el tránsito del Downtoniense al Gedinnense.

El Devónico es regresivo, faltando los niveles altos del supramedio, existiendo marcada diferencia en el grado de metamorfismo entre el conjunto Cámbrico-Silúrico y los Devónicos, siendo más débil en éstos, presentando aquéllos un plegamiento más intenso, observándose además verdadera discordancia respecto a dirección de los plegamientos, pues los primeros van de NW. a SE., mientras los Devónicos se inclinan suavemente hacia el NW. y SE. Por ello, la tectónica de la región según los autores es debida a dos plegamientos sucesivos, localizado el más importante entre el Silúrico y el Devónico, y el segundo en el Carbonífero.—H.-P.

SOARES DE CARVALHO (G.): *Subsidios para o estudo dos depósitos de la orla meso-cenozoica occidental de Portugal*. Sep. «Rev. Fac. Cien. Universidad de Coimbra», vol. XVII. Coimbra, 1948.

Teniendo en cuenta las actuales ideas sobre génesis de los depósitos manganesíferos de los de origen lagunar, formados en regiones litorales a los depósitos de pirolusita, manganita y pisomelana y otros minerales

tales como barita, hematites, etc., de la región de Arcadia, cerca de Aveiro (Portugal), supone el autor tengan todos el mismo origen.

Se considera como depósito primario al de manganeso, que se acumuló por concentración en las zonas deprimidas de la región de Arcadia, donde las rocas graníticas, con diques hipotermales, así como los metamórficos que las cubren, aparecen cruzados de diabasas, lo mismo que el Ordovicianes y los conglomerados autunienses de la sierra de Buçaca.—H.-P.

COTELO NEIVA (J. M.): *Notas sobre geoquímica das águas mineromedicinales do Norte de Portugal*. Actas do Congresso Luso-Espanhol de Hidrologia. Ministerio da Economia. Lisboa, 1947.

El profesor Cotelto Neiva, en este trabajo, trata de explicar la presencia de diversos cationes existentes en las aguas mineromedicinales del Norte de Portugal, cationes que fueron determinados por análisis espectrográficos realizados por el profesor Alberto Brito, y que dieron origen al trabajo titulado «Contribuição para o estudo espectrográfico dos águas minerais do Norte de Portugal», Porto, 1945.

Se da a continuación la lista, muy numerosa, de las aguas analizadas, destacando cuáles son los compuestos comunes a todas ellas, y aquellos otros, tales como el Be, que caracterizan a las que brotan en fracturas tectónicas o a grupos especiales, como sucede con el G<sub>2</sub>, que sólo aparece en las aguas de origen tectónico del Alto Cábado, a lo largo de la fractura Taipas-Vizelya-Canaveres, y en la región de fractura de Covelinha Moledo.

Otras indicaciones se hacen para otros compuestos, indicando que respecto al Al, Ca, K, Mg, Mn, Na, y Si, la explicación es sencilla, pues las rocas a través de las cuales circulan, contienen tales elementos.

Para otros, no frecuentes en las aguas o específicos de algunas, Cotelto Neiva expone diferentes razones muy dignas de tenerse en cuenta, haciendo destacar las dificultades en explicar la presencia de Cu, N y Co, por no existir en general en las rocas ultrabásicas, no frecuentes en los macizos graníticos, pero de las que pudieran prevenir, por existir filones que las atraviesan, que contienen tales cuerpos.—H.-P.

ORTI (Carlos): *Distribución geológica de los manantiales mineromedicinales españoles*.

Hace destacar la correlación de los manantiales mineromedicinales, con las fracturas tectónicas importantes, así como con las manifestaciones volcánicas arrumbadas, según Calderón, a lo largo de tres líneas sensiblemente orientadas de NE. a SW., que dan origen a la costa levantina; otra normal a la depresión del Ebro, y, finalmente, la de la costa atlántica, donde se agrupan, en relación con ellas, gran número de manantiales.

El mapa de los manantiales mineromedicinales, recientemente publicado por el Instituto Geológico y Minero de España, puede servir magníficamente, según el ingeniero señor Orti, para la localización y relación con la tectónica de tales manifestaciones hidrogeológicas.—H.-P.

HERNÁNDEZ-PACHECO (E.): *Contribución al estudio de las aguas juveniles y a la hidrogeología de la península Hispánica*. Actas do Congreso Luso-Español de Hidrología. Ministerio de Economía, Lisboa, 1947.

El autor comienza haciendo destacar la relación íntima de la hidrología externa con la interna, de tal modo que puede asegurarse que la mayor parte del caudal de las aguas mineromedicinales, es de origen meteorico.

Analiza a continuación el origen de las aguas denominadas juveniles y su relación íntima con las destilaciones que diversos geólogos y químicos hicieron con rocas eruptivas, aguas que también tienen extraordinaria importancia en las erupciones volcánicas, estando las nubes de vapor formadas en su mayor parte por ellas, dándose respecto a estos datos en detalle de las erupciones relativamente recientes de Lanzarote.

Se hace destacar también, la relación íntima de determinadas aguas carbónicas con el volcanismo reciente y las grandes fracturas tectónicas; tal sucede con las de Gerona y del Campo de Calatrava y de algunas aguas de las islas Canarias. Carbónicas son también otras de origen tectónico; tal sucede con las del Norte de Portugal y Galicia, de las que se ocupa el profesor Hernández-Pacheco, haciendo destacar la importancia de la gran fractura tectónica de Támeaga.

A continuación se refiere a la hidrogeología de la España silicea, cálcica y arcillosa, dando las características especiales hidrogeológicas de tales regiones.—H.-P.

DE OLIVEIRA MACHADO E COSTA (Alfredo): *As rasgaduras oceánicas da costa portuguesa*. «Ann. de la Asoc. Esp. para el Progr. de las Ciencias», año XII, núm. 1. Madrid, 1947.

Comienza el autor analizando el probable origen de la costa portuguesa, indicando las constantes transformaciones que ha sufrido, debido a grandes fracturas y hundimientos, precursores de su actual configuración, haciéndose destacar, respecto a esto, la leyenda referida por Amiano Marcellin y Paulo Orose, que hace referencia a un extraordinario sismo que tuvo lugar en el siglo IV de la dominación romana, al que se atribuye la formación de los islotes del Cabo de San Vicente y el hundimiento del terreno que unía las Berlengas al continente.

Trata después de los movimientos verticales experimentados por el litoral, que han provocado, en épocas relativamente recientes, invasiones del mar en las zonas de Espinho, como ha relatado Machado e Costa en *A terra portuguesa*, Lisboa, 1915, y en otras zonas litorales de este país.

A continuación analiza la evolución de diversas desembocaduras y de cortaduras, en particular en la zona de Nazaré, donde la evolución histórica del litoral ha sido muy rápida, debido a la acción erosiva de las aguas del mar. Lo mismo acontece con las zonas de desembocadura del Tajo, donde tanto la erosión del mar, como los aportes del río, han hecho cambiar la configuración de la línea costera, lo que está también relacionado, según el autor, con movimientos de emersión y elevación del continente, lo que se aprecia claramente en los paisajes que rodean al estuario del Sadó, en Setúbal, así como en la desembocadura del río Mira, donde han sido apreciados movimientos ascendentes locales recientemente por Zbyszewski, G., con amplitudes de 60 a 100 ms., fenómenos que, iniciados en el Plioceno inferior, han provocado la excavación, bajo el nivel del mar, de todos los valles, al hundirse posteriormente el litoral.

El análisis detallado de tales fenómenos que el autor hace, y que abarca otras zonas, hacen interesante este trabajo.—H.-P.

RIBAS DE PINA (M.): *La región natural llamada «La Montaña»*. (Estudio de geografía humana). «Bol. R. Soc. Geog.», t. I.XXXIV, núms. 1 al 6, enero-junio. Madrid, 1948.

La observación personal del autor en las comarcas estudiadas en relación con las viviendas rurales, ha servido de base para establecer el límite de la comarca, región para el autor, que se conoce con el nombre de «La Montaña».

Se analiza el clima de tales zonas, pero ciñéndose exclusivamente al país bajo, dándose datos de conjunto y en relación con diferentes cultivos.

Se analiza la densidad de población, mediante cuadros, indicándose los habitantes por kilómetro cuadrado, y el número de poblados, comparándolos con los de otras épocas (siglo XVIII), sacando las consecuencias provisionales que:

1.º Los límites de la región (nosotros diríamos comarca) natural, llamada actualmente «La Montaña», y que antes tuvo el nombre de «Las Cuatro Villas de la Costa del Mar de Castilla», se extienden más allá de Santander, abarcando el partido judicial de Villarcayo y gran parte de los de Sedano y Cervera de Pisuerga.

2.º Una característica esencial de esta región, consiste en la diseminación de las viviendas, formando pequeñas aldeas, lugares y barrios aislados.—H.-P.

LLOBET (S.): *El medio y la vida en Andorra*. Estudio geográfico. Instituto Juan Sebastián Elcano. Estación de Estudios Pirenaicos. Consejo Sup. de Inv. Cient. Barcelona, 1947.

Andorra es una comarca natural montañosa, que comprende aproximadamente la alta cuenca del Valira, en la Cordillera Pirenaica. El límite de este país es casi siempre la línea divisoria de aguas.

De tal comarca se ha hecho, por el profesor Llobet, un estudio geográfico, bien orientado y completo.

Pocos había anteriores que se ocupasen de Andorra, debiendo citarse como más importantes los de H. Gaurren, que se ocupa de la vegetación; de P. Birot, que trata de morfología y de M. Sorre, que estudia la geografía humana, siendo la obra más completa sobre tal Principado, la de J. A. Brutails, que se ocupa de Derecho consuetudinario.

El estudio de Llobet, abarca tanto las características geográficas como las de vegetación, pero este libro es más humano que fisiográfico. Se da en él, el escenario perfectamente presentado, asentado en el mismo, la vida del hombre.

Se comienza haciendo un estudio del origen de esta pequeña nacionalidad, que debió poblarse hacia el siglo III a. de J. C., siendo el primer documento citado, el acta de la fundación de la iglesia de Urgen o La Seo, hacia 819 u 839. Los condes de Urgel concedieron en Andorra territorios, pudiendo decirse que desde entonces comienza el origen de su personalidad como comarca libre. En la actualidad se considera que la soberanía es indivisa entre los dos príncipes representantes de España y Francia.

En el capítulo III, denominado por el autor Geomorfología, se dan las características geológicas, fisiográficas y de configuración del país, haciendo destacar la labor del glaciario cuaternario y la importancia del aterramiento fluvio-glaciario.

El clima y la hidrografía se describen en el capítulo IV. Las precipitaciones aumentan hasta altitudes de 1.800 ms., marcándose, al parecer, una disminución en las zonas superiores a los 2.000 ms. Se deduce un régimen con dos máximas: uno primaveral y otro otoñal, siendo el valor medio de la precipitación anual entre 750 a 850 mm., en la zona comprendida entre 2.000 y 2.500 ms. En otras zonas también de cumbres, se sobrepasan los 1.500 mm., pues hay que destacar que la nivación, a partir de los 950 ms. de altitud, es muy importante.

El régimen fluvial es el característico de las precipitaciones pluvio-nivales, con una crecida fundamental de primavera. El perfil de los ríos es el característico de los valles glaciares, escalonado, debido a los típicos umbrales locales, que existen transversalmente a los grandes valles.

Interesante es el capítulo V, que trata de la vegetación, estudiándose

también en él los suelos, que están fundamentalmente en relación con los depósitos glaciares y postglaciares, dando ello origen a valles ricos por sus buenas tierras.

En la vegetación boscosa, se hace destacar que el carácter fundamental es la falta del haya y la presencia de la encina (1.100-1.200 ms.), siendo el piso de Andorra arbóreo el comprendido desde los 1.600 a los 2.400 metros de altitud, destacando en las zonas húmedas los abedules.

La pradería representa bien la zona alpina, que, a veces, está ocupada por manchas de matorrales y arbustos.

El resto del libro se ocupa de cuestiones de geografía humana, abarcando tales temas desde el capítulo VI al XV, debiendo destacarse el VIII, en el que se describe las características de la ganadería; el XIII, que se ocupa de la población, y el XIV, en el que se describe el tipo de casas.

Bien ilustrado, con mapas que complementan el texto, este trabajo es muy estimable y, en particular en lo que se refiere a geografía humana, que puede tomarse como un ejemplo típico de trabajo regional.—H.-P.

ALÍ MEDINA (M.): *La tectónica de arcos en el Sáhara español*. «Las Ciencias». An. Asoc. Esp. para el Prog. de las Cienc., año XIII, número 2. Madrid, 1948.

Se interpretan en este trabajo las inflexiones tectónicas que sufren las formaciones geológicas en el Sáhara español, dando origen al arco tectónico del Yebel Sini, lo que tiene lugar también, en el paleozoico plegado, situado en NW. de la depresión tectónica de Tinduf, a la que se adaptan, los bordes de las formaciones paleozoicas monoclinales, que allí existen.

El segundo arco, no tan marcado, queda situado en la zona Semmur-Esmara, país de tránsito del régimen de Semmur y otro subhorizontal de la depresión de Tinduf.

Se analiza tal disposición en relación con los arcos de materiales rígidos que en contacto con ellos existen, haciéndose un estudio resumido de la evolución tectónica del conjunto, deduciéndose que tales fenómenos dependen del carácter rígido del zócalo, reflejando la cobertera de sedimentos plásticos, el régimen de plegamiento y fracturas de aquél.

Como en el zócalo, las fracturas siguen dos direcciones, las atlásicas, de E. W., y las atlánticas, más o menos norteadas, el juego de ambas ha determinado el gran arco del Sini. Adaptación que se hace más fácil mediante fracturas de transición, motivadas por arcos de hundimiento en las zonas centrales de las amplias depresiones (Tinduf).

Tales estructuras, indica el autor, podrían generalizarse en sus líneas fundamentales a otros arcos tectónicos.—H.-P.

DE ALMEIDA (M.): *Notas geológicas sobre a região da Tocha*. Sep. «Bol. da Soc. Geol. de Portugal», vol. VII. Porto, 1948.

Estudiando el corte geológico hecho en un pozo inmediato a Tocha, se ha podido deducir la estratigrafía del Turoniense, que localmente se encuentra cubierto por extensos depósitos de arenas de médanos, de reciente formación.

El corte alcanza a 34 ms., dándose en el trabajo la serie litológica atravesada por el sondeo practicado.

Tales depósitos están inclinados de 20 a 25° S. unos 60° E. Los foraminíferos que encerraban algunos horizontes fueron examinados por el doctor G. Colón, que supone se trata de especies eocenas, más bien que cretáceas.

El autor distingue en el conjunto sedimentario tres grupos: el primero, de 0 a 7, representaría al Cuaternario; el segundo, que comprende de los 7 a los 16 ms., es un Oligoceno cubierto por Cuaternario, y el tercero, que alcanza el fondo del sondeo, representa un conjunto claramente discordante Eocénico y quizá Senonense.—H.-P.

ZBYSZEWSKY (G.): *Note sur l'existence au Portugal d'une tectonique salifère pliocène*. «Las Ciencias». Ann. Asoc. para el Prog. de las Cienc., año XIII, núm. 1. Madrid, 1948.

Es estudio geológico efectuado por el autor en la región de Caldas da Rainha, así como los sondeos efectuados para investigaciones de sal gema y potásica, han permitido descubrir fuertes deformaciones en los depósitos Pliocenos, que están volcados en los contactos con las zonas arcillosas inmediatas del Hetangiense.

Tales fenómenos han sido motivados por una tectónica estrechamente ligada a la presencia de sal, yeso y anhidrita, que han afectado, deformando, al Plioceno, fenómenos que se han podido datar por la presencia de fauna fósil astiense, que aparece en la base de la formación, o por restos vegetales que existen en las zonas altas, acompañados por depósitos de lignito y tripoli.

La flora corresponde al comienzo del Villafranchiense, localizando los movimientos ya casi en tiempos cuaternarios (segunda mitad del Villafranchiense). Tales fenómenos, bien datados en Obidos y Caldas da Rainha, como Praia da Victoria, han tenido lugar igualmente en Leiria, Río Maiar, Coimbra y en el Algarve.—H.-P.

MASACHS ALAVEDRA (V.): *El régimen de los ríos peninsulares*. Inst. «Lucas Mallada», de Investg. Geol.—Cons. Sup. de Invest. Cient. Barcelona, 1948.

Esta Memoria está prologada por el profesor San Miguel de la Cámara, que apadrinó tal tesis doctoral.

A continuación el autor hace destacar la falta de trabajos existentes en nuestra península en relación con el régimen de nuestros ríos, sin que quiera esto decir que no se haya escrito nada sobre los ríos peninsulares, ni que se haya intentado hacer algo en relación con su régimen, citando a este respecto los trabajos de F. Cebrián y los de M. Lorenzo Pardo.

Tal laguna es la que ha hecho que Masachs Alavedra emprendiese el estudio del régimen de nuestros ríos, tomando como base los aforos diarios obtenidos por el Servicio Central Hidráulico y los Servicios Hidráulicos Portugueses, así como otros datos y noticias que fueron por el autor clasificados y seleccionados, y que sirvieron para los cálculos de los valores mensuales de caudal, de crecidas y estiajes e irregularidades interanuales, etc., que constituyen la base de las consideraciones geográficas.

También se han tenido en cuenta las condiciones climatológicas, los rasgos litológicos, vegetación, aprovechamientos hidráulicos capaces de modificar el régimen, etc., lo que ha permitido llegar a conclusiones que han hecho posible el establecimiento, interpretación y definición de los diversos regímenes fluviales.

El autor comienza analizando el estado de los conocimientos hidrográficos de la península, basados fundamentalmente en obras de riego o defensa de determinados cauces, trabajos que dan una serie de observaciones, que, aun sin relación entre sí y sin sistematización, sirven para orientar y hacer ver la necesidad de iniciar de un modo continuo y sistemático, el estudio de nuestros ríos y de su riqueza hidráulica o caudal.

Refleja la falta de datos y trabajos en relación con estas cuestiones, la escasa bibliografía citada por el autor, pues no pasan de una docena.

El autor se ha propuesto un conocimiento más amplio y preciso de nuestros ríos, no de cada río, sino los diferentes regímenes de determinados conjuntos, para más adelante, que este primer pazo «sirva luego para edificar sobre el mismo el brillante edificio de la Hidrología Peninsular».

En la primera parte se estudian los factores del régimen, atmosféricos, geográficos, geológicos y bióticos, todos ellos variados y complejos, como lo es el conjunto de nuestros dos países España y Portugal. Se analiza a continuación los elementos del régimen y su determinación mediante los aforos, analizando el error en la determinación de caudales y las causas de enmascaramiento en el régimen natural. Respecto al

periodo de observación, fué preciso, en muchos casos, contentarse, por ahora, con las observaciones hechas y presentar los datos tal como son, «expresando para cada estación el periodo utilizado, y así dejar valores de observación en los que basar, en su caso, los estudios más determinativos que se emprendan con ocasión de memorias de tipo monográfico».

En el capítulo VI se estudian las crecidas y estiajes, haciendo destacar la gran irregularidad que en general ofrecen los ríos peninsulares, y que, consideradas en su conjunto, no se efectúan en determinada época, sino que en cada grupo responden a una serie de factores y circunstancias de las más variadas y complejas.

A continuación se trata del caudal, que el autor denomina abundancia, y del estado de su estudio.

Muy interesante es el análisis de las variaciones estacionales, llegándose a la determinación de coeficientes y a los tipos de regímenes, complejos, complejos de primer grado (nivel de transición y niveo-pluvial), pluvionival, pluvial y regímenes complejos de segundo grado.

En la segunda parte se hace la descripción de los ríos, o conjunto de ellos en relación con los factores del régimen y el sentido de su acción, hasta llegar a dar sus características típicas, que definen la dinámica fluvial, deduciendo el autor que aún queda mucho por hacer, en particular sobre el régimen.

Las cuestiones que se analizan son: los datos fundamentales, aforo y pluviometría, los factores del régimen y, finalmente, el régimen, estudio que se lleva a cabo por zonas o mejor diríamos, regiones peninsulares, Pirenaicas, Prepirenaicas, Mediterráneas-levantinas, los del nudo de San Juan, Penibética y Subbéticas, Oretanas y Maránicas, de la Cordillea Central, Galaicas y Cantábricas.

A continuación se estudian las grandes arterias Ebro, Mijares, Turia y Júcar, el Segura y Guadalquivir, así como los tres grandes colectores de la meseta, Guadiana, Tajo y Duero.

Numerosos cuadros y tablas complementan el trabajo, que es de gran interés y fundamental para el conocimiento del régimen de los ríos españoles.—H.-P.

BATALLER (J. R.): *Síntesis de las especies nuevas del Cretáceo de España. Parte VIII. Mollusca.* «Anales de la Escuela de Peritos Agrícolas», vol. VI. Barcelona, 1946-1947.

El doctor Bataller dedica este segundo volumen, de 186 páginas, solamente a la recopilación de todas las especies fósiles nuevas de Lamelibranchios, estudiadas y descritas según ejemplares hallados en España. El primer volumen comprendiendo todas las especies anteriores, apareció en las «Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona», vol. XVIII, Barcelona, 1947.

Después de un breve preámbulo, describe 196 especies españolas de Lamelibranchios, dando en cada una de ellas la sinonimia, con las principales publicaciones en que se describen o figuran; a continuación, una breve descripción de la especie y, por último, su nivel estratigráfico y localidades en que se ha encontrado. Acompaña dibujos o fotografías de todos aquellos fósiles que han sido ya figurados, y al final describe y figura dos especies nuevas inéditas.

Termina el tomo con una abundante bibliografía de las publicaciones que tratan de Lamelibranchios cretáceos.

Es este trabajo que comentamos de Mn. Bataller utilísimo para cuantos nos dedicamos más o menos asiduamente a trabajos paleontológicos, pues la ayuda que presta en la clasificación de especies cretáceas es inestimable, ya que éstas se encuentran diseminadas en muchas publicaciones, no siempre a disposición de todos los paleontólogos.

Además, representa esta recopilación una ardua tarea, sólo al alcance de los conocimientos y laboriosidad de especialistas de su talla, por lo que debemos estar reconocidos a su empeño y desear que vean pronto la luz los volúmenes que restan para completar esta sinopsis.—A. ALMELA.

RODRÍGUEZ MELLADO (M.ª T.): *El Devoniano en el Sáhara español.* «Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.», t. XLVI, núms. 5-6, 14 láminas de fósiles. Madrid, 1948.

Es el que nos ocupa, un meritorio e interesante estudio de la variada fauna recogida por el señor Alía en su excursión al Sáhara, entre la que abundan los ejemplares muy bien conservados.

Después de una reseña geológica breve de los itinerarios geológicos recorridos, se dan las listas de fósiles clasificados, procedentes de los múltiples yacimientos encontrados, en las que se encuentran algunas especies gotlandienses y gran cantidad procedentes de los tres pisos devonianos, pues los tres están representados en el Sáhara español.

Acompaña a este trabajo 14 láminas con fotografías de los fósiles clasificados, y al final se inserta una abundante bibliografía sobre paleontología devoniana.—A. ALMELA.

BAUZÁ RULLÁN (J.): *Nuevas aportaciones al conocimiento de la ictiología del neogeno catalán-balcar.* «Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.», núms. 5-6. Madrid, 1948.

Continuando sus anteriores trabajos, el autor describe detalladamente once especies de dientes y placas dentarias de peces neogenos de Cataluña y Baleares, dando, además, una abundante bibliografía, de gran



utilidad para los paleontólogos que tengan que clasificar esta clase de fósiles.

Al final se inserta un cuadro con los géneros actuales representados en el neogeno de Cataluña y Baleares, con las características climáticas de los mares en que se encuentran, llegando a la conclusión de que los mares neogenos tuvieron un carácter francamente subtropical. También incluyen cuatro láminas de fotografías de los ejemplares descritos.—A. ALMELA.

BAUZÁ RULLÁN (J.): *Contribución a la fauna ictiológica fósil de España. Especies eocénicas de Cataluña.* «Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.», números 7-8. Madrid, 1948.

Continuando este autor sus estudios paleoictiológicos, describe en este trabajo con mucho detalle y abundantes sinonimias, cinco especies de dientes del eoceno catalán, acompañando dos láminas con fotografías de los ejemplares estudiados. Termina el trabajo con una interesante bibliografía sobre el tema.—A. ALMELA.

*Mapa geológico de España, escala 1:50.000. Explicación de la hoja número 841, Alcaraz,* por don Enrique Dupuy de Lôme, ingeniero de Minas. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1948.

La explicación consta de los capítulos que son corrientes en esta clase de publicaciones del Instituto.

Después de una introducción, bibliografía y el estudio de la Geografía física del territorio, se trata de la Tectónica, asunto de gran importancia en zona colindante por el N. con una de las de mayor complicación de nuestro país en ese orden, aduciéndose datos inéditos de suma importancia, como el del cambio de rumbo casi en escuadra que experimentan los bancos mesozoicos, pasando del SO.-NE., o sea el de los terrenos situados al S. de la línea tectónica del Guadalquivir, al SE.-NO., que es el de la parte oriental de la provincia de Albacete, el cual se prolonga después hacia el N. por Cuenca y Aragón. Otro dato es el de los mantos de corrimiento jurásicos-miocenos sobre el Triásico autóctono. Se hace observar la altura de cerca de 1.000 ms. a que los depósitos marinos miocenos llegan a encontrarse sobre los lacustres de la misma edad de la región albaceteña, demostrativa de la intensidad y amplitud de los movimientos postvindobonienses.

En el capítulo de Estratigrafía se estudian detalladamente los diversos terrenos que aparecen en la Hoja. El Siluriano sólo ofrece ligeras muestras junto a Alcaraz, avance máximo hacia NE. de la gran unidad tectónica de Sierra Morena, a la cual pertenecen. El Triásico ocupa las tres

cuartas partes de la Hoja y forma el substratum general, excepto los asomos anteriores, con dos pisos, el Werfeniense, de arcillas y areniscas, y el Virgloriense calizo con límite superior impreciso. Se asignan al Liásico unos niveles alternantes de margas y calizas arcillosas de mucho espesor, sin fósiles, por lo que dicha asignación la considera el autor provisional. El Jurásico se presenta en grandes masas de dolomías blancas milonitizadas, y su clasificación se hace por identidad petrológica con las de las sierras de la parte E. de la provincia. El Mioceno ofrece un término marino vindoboniense, bien caracterizado, y otro de espesor reducido y poca extensión, lacustre, Pontiense, de calizas poco consistentes. El Cuaternario tiene poquisima importancia, como es natural en comarca tan montañosa.

Minería no existe dentro de los límites de la Hoja, pues los criaderos de calamina de Riópar, tan activamente explotados en otros tiempos, se encuentran fuera de ella por el S. Se han practicado investigaciones sobre impregnaciones cupríferas en las areniscas triásicas cerca de Boggarra, sin resultado industrial.

La hidrología subterránea de la comarca es muy importante. Existe un nivel acuífero general en el contacto de los dos pisos del Triásico, ya que el inferior es por completo impermeable, y además otros a mayor cota, especialmente en las calizas jurásicas, que dan lugar a caudalosas fuentes.

El último capítulo está dedicado a la Agronomía, que se concentra en el aprovechamiento forestal, en general desordenado, lo que constituye una amenaza para aquella riqueza.

En el texto se intercalan numerosas fotografías y una columna estratigráfica, y, además de la Hoja a escala 1/50.000, se acompañan tres cortes generales trazados sobre ella en la forma más instructiva.—D. T.

*Mapa geológico de España. Hoja núm. 135. Sedano.* Memoria explicativa, 38 páginas, numerosas láminas, cuadros y tres cortes, terminada en 1942 y publicada en Madrid el año 1946.

Pertenece esta Hoja a la región N. de España, y está incluida en la provincia de Burgos. El trabajo ha sido realizado por los ingenieros de este Centro A. de Alvarado, J. M. López de Azcona y L. Barrón; comprende un capítulo de Bibliografía; otro sobre Geografía física y política, con varias figuras y cuadros estadísticos. La Tectónica, que se trata después, es objeto de detenido estudio, quitando importancia a la «zona levantada» de Caderechas y dándosela, en cambio, a dos fallas: una, dirigida de E. a O., y la otra, ONO.-ESE. Atribuyen más interés al anticlinal simple de la sierra de Tesla, quitando importancia a la cobijadura de los geólogos alemanes. Sigue la Estratigrafía, que es muy

variada, y comprende el Triásico, Liásico, Jurásico, Cretáceo inferior, Cretáceo superior, Eoceno, Oligoceno y Cuaternario. Es lástima que la discriminación estratigráfica del Cretáceo superior no sea lo completa que fuera de desear en región donde los tramos y pisos de este sistema han sido profusamente diferenciados y descritos anteriormente por otros autores. A continuación va el capítulo de Paleontología, en el que ha intervenido el profesor Muñoz Amor. El capítulo VI se dedica a la Hidrología subterránea; han colaborado el señor Menéndez Puget y el señor López Azcona, que presentan sendos interesantes cuadros de análisis. Viene, por último, el capítulo de Petrografía, con un detenido estudio de las distintas clases de rocas, por el señor Barrón.—J. M.

*Mapa Geológico de España. Hoja núm. 243. Calahorra.* Memoria explicativa de la Hoja, 36 páginas con varias figuras, láminas y cortes geológicos. Madrid, 1947.

Esta Hoja pertenece a la región N., y comprende parte de la provincia de Navarra y Logroño. Ha sido compuesta por los ingenieros J. Mendizábal y A. Comba, con la colaboración de don José María Ríos y don Carlos Teixeira. Comienza por el capítulo de Bibliografía, al que le sigue el de Historia, en el que se resumen las opiniones de los distintos geólogos que se han ocupado de esta región. A continuación va el capítulo de Características geográficas, en el que se habla de Orografía, Hidrografía y comunicaciones. La Estratigrafía, que se trata en el siguiente, es variada y abarca los sistemas Triásico, Liásico, Cretáceo, Oligoceno y Cuaternario. La mayor parte de la superficie representada en esta Hoja está constituida por terrenos del Oligoceno y Cuaternario. Sólo en su ángulo SO. aparece un asomo de Triás diapírico, acompañado de Liásico y Cretáceo inferior. Se habla en el siguiente de Paleontología, y debemos hacer notar el estudio llevado a cabo por don Carlos Teixeira acerca de la flora recogida en el yacimiento lignífero de Préjano, *Weichselia mantelli*, *Pecopteris browniana* y *Sphenolepidium Kurrianum*, que fijan edad infracretácea para el mismo. Sigue el de Hidrología, con la intervención de don Laureano Menéndez Puget. En el de Sismología se da cuenta de los movimientos sísmicos acusados en la región en 1817 y en 1875. Se trata en el siguiente de Sustancias minerales de aprovechamiento industrial, como son carbones, yesos, arcillas, hierros aluminosos e hidrocarburos, y, por último, en el décimo y último se habla de Explotaciones mineras, donde se exponen los datos suministrados por don Eduardo Carvajal.—J. M.

ALTAMIR BOLVA (José): *La sal en el mundo*, tomo I, volumen de 27,5 x 19,5 cms., 510 págs. y gran profusión de fotografías y gráficos. Ediciones al Servicio de la Industria Salinera. Madrid, 1949.

Ofrece esta obra el gran interés de que su autor es sumamente versado en la materia, como rector de una de las entidades más importantes de España dedicadas a la industria de la sal, y de que muchos datos han sido directamente tomados por él en sus visitas a establecimientos salineros de numerosos países, de modo que constituye una recopilación que será consultada con fruto por quien necesite documentarse sobre la materia.

Como es natural, la mayor extensión del libro está dedicada a España. Se inserta un mapa de la península e islas adyacentes, en el que figuran no sólo las salinas marítimas, sino las de manantial y los yacimientos de sal gema, así como las fábricas más importantes de derivados del cloruro sódico. La parte que trata de las salinas de Torreveja y La Mata, propiedad del Estado, contiene una curiosa bibliografía, que abarca desde el año 1374 hasta el 1947. Se termina el capítulo de España con un cuadro relativo a las principales entidades salineras del país, con datos sobre el año de su constitución y su situación financiera.

Trata después el autor de los diversos aspectos de esta industria en los países salineros de Europa, incluida Rusia, separadamente uno por uno, aportando gran número de datos técnicos, comerciales y estadísticos, y termina insertando un gráfico de producción de sal en las restantes partes del mundo, incluida asimismo la Rusia asiática, durante los años 1922 a 1930.—D. T.

SOLÉ SABARÍS (L.) y MORENO CARDONA (L.): *Bibliografía geológica y fisiográfica de las Cordilleras Béticas*. «Bol. Univ. Granada», núm. 71, 1942.

Contiene este trabajo una compilación bibliográfica de las publicaciones geográficas y geológicas hechas sobre las Cordilleras Béticas.

Tras de un breve prólogo en el que los autores trazan la historia del caudal bibliográfico sobre el territorio andaluz, dividen éste en dos grandes apartados: I, *Geografía Física* y II, *Geología*. Dentro del primero distinguen los siguientes dominios: Geografía general, Climatología, Hidrografía, Edafología, Geofísica, Morfología y Biogeografía. El apartado de Geología comprende las siguientes divisiones: Geología general, Estratigrafía y Paleogeografía, Paleontología, Tectónica, Sismología, Minería, Petrografía y Cartografía. Se ve, pues, que en esta recopilación ningún aspecto de la Geología o Geografía andaluzas ha sido omitido.

A cada una de las materias enumeradas sigue la correspondiente lista

bibliográfica, que arranca a veces de autores pertenecientes a la primera mitad del siglo pasado, siempre que sus obras tengan algún valor mayor que el puramente histórico. En cada una de las divisiones, se dedica una primera referencia bibliográfica a las obras concernientes al conjunto de la Península Ibérica que contengan datos de interés sobre la región andaluza y otra segunda a los trabajos que exclusivamente se refieren a la misma. Tiene, pues, esta ordenación bibliográfica un interés que excede al de una simple enumeración de carácter regional y puede dar una orientación útil al que desee recordar las obras más importantes sobre las materias mencionadas, que versen sobre el conjunto de nuestra Península.

Cuando el tema cuya bibliografía se detalla lo requiere, se fija una acertada subdivisión del mismo. Por ejemplo, en el capítulo de la Morfología de Andalucía, se citan sucesivamente las obras sobre Morfología general, Morfología fluvial, Morfología glaciaria y Morfología costera de la región bética.

A cada una de las listas bibliográficas por materias sigue un breve y atinado comentario con el objeto de dar una sumaria orientación sobre las mismas, subrayando el valor de las obras más significativas.

A la relación bibliográfica por materias sigue un índice alfabético de autores.

Las obras citadas son mil trescientas cuarenta y tres. Representa, pues, esta compilación un gran esfuerzo y un catálogo muy completo, de evidente utilidad para el que haya de dedicarse a investigar sobre geografía y geología andaluzas; insistamos en que esta utilidad viene acrecida por la acertada subdivisión de las materias y por los comentarios que acompañan a las relaciones bibliográficas. Sería de desear ahora que se publicase una «addenda» que completase dicha recopilación, pues, posterior a ella, existe ya una bibliografía bastante numerosa.—E. ALASTRUÉ.

SOLÉ SABARÍS (L.): *Estado actual de nuestros conocimientos sobre los Alpes españoles*. «Bol. Univ. Granada», núm. 71, 1942.

Da a conocer este trabajo una conferencia del mismo título pronunciada por el autor en la Escuela Especial de Ingenieros de Minas y representa un estudio de conjunto de las cadenas alpinas peninsulares, realizado a la luz de las investigaciones más recientes.

Se inicia por unas generalidades en las que el autor describe la estructura de una cordillera de tipo alpino y enumera las distintas hipótesis enunciadas sobre los enlaces de los plegamientos alpinos en la Península Ibérica. Seguidamente estudia el Pirineo, de cuya estructura da una clara y sumaria visión, completada con un análisis del problema de su enlace con otras ramas del tronco alpino. Para dicho análisis tiene

en cuenta dos hechos: la estructura de las terminaciones oriental y occidental y la edad de plegamiento de la cadena. Ambos constituyen la base para contrastar las hipótesis de Argand, Staub, Kober y Stille sobre los enlaces con las cordilleras inmediatas.

El estudio del eslabón balear constituye otro apartado del trabajo. En él se describen las estructuras de Mallorca, Menorca e Ibiza según los resultados logrados por Fallot, Darder, Spiker y Haanstra y se fija la edad de sus fases de plegamiento. Sobre la base de estos conocimientos se examina la cuestión de la continuidad con arcos alpinos próximos según las interpretaciones de Suess, Fallot, Nolan, Hollister y Stille.

Los plegamientos béticos son la materia de la última y más extensa división del trabajo. En ella se exponen las interpretaciones estructurales de la escuela holandesa, de Staub, de Fallot y Blumenthal que, aunque divergentes en detalles, coinciden en imaginar a nuestras sierras béticas como un conjunto de mantos de corrimiento, en contraste con la opinión de la escuela española que siempre ha concebido al territorio andaluz como un país de plegamientos autóctonos. El Sr. Solé cita asimismo las pruebas aducidas por las antedichas escuelas para apoyar la hipótesis de la aloctonía y concluye enumerando las diversas fases de plegamiento según Stille discernibles en las alineaciones andaluzas. Finalmente se ocupa de las varias hipótesis en torno a la conexión con arcos alpinos contiguos: la del arco de Gibraltar, de Suess y Stille, la de la continuidad del paleozoico rifeño y bético de Marín, Fallot y Gavala y la de la prolongación hacia el Oeste de la dirección de los plegamientos béticos, de Kober, Staub y Termier.

En resumen, se trata de una certera síntesis que coordina con claridad y elegancia numerosos documentos, difíciles en general de estudiar y extraer. Con estas características constituye un útil material de estudio, cuya falta se dejaba sentir en la bibliografía española.

Abundantes cortes originales de los autores citados contribuyen a aclarar las explicaciones del texto.—E. ALASTRUÉ.

**DIVULGACIONES GEOLÓGICAS**

**ESTO ES LA GEOLOGIA**

POR

**J. M. RIOS**

**Ingeniero de Minas**



J. M. RIOS

Ingeniero de Minas

## ESTO ES LA GEOLOGIA

Variedad de  
los problemas  
geológicos.

¿Qué es exactamente la Geología? La Geología comprende tantas cosas distintas, que el profano se siente desconcertado en sus contactos ocasionales con ella. Para él es muchas veces intrincado galimatías, jerga incomprensible de voces misteriosas, verdadera cábala de la que no saca en limpio más que desconfianza y prevención establecidas para todo futuro contacto. Pero ¿qué es realmente la Geología? Es geología el misterioso origen de la Tierra y también el alumbramiento del agua, que espera impaciente el labrador para refrescar sus sedientas y quemadas tierras, agua que quizá discurre subterránea a pocos metros bajo sus pies. La búsqueda de los metales, y los afanes del apasionado investigador que trata de desentrañar la torturada estructura de las plegadas capas de un sistema montañoso es también geología. Y geología son tanto la inteligente elección de una modesta cantera, como las complicadas síntesis que elabora el sabio después de estudiar montones de libros en su despacho. A la geología acuden el minero que perdió la capa o el filón, el curioso secretario de pueblo que en sus alrededores encontró una rara petrificación, el poderoso Estado que gastó millones en la construcción de un pantano cuya presa se alza en vano es-

perando estérilmente retener unas aguas que escapan por desconocidas grietas. Y para unos pocos profesionales la Geología es vocación maravillosa, que los acerca a la Naturaleza, satisfaciendo su curiosidad científica, su ansia de saber; es el mapa bien ejecutado; la representación lógica de los trastornos de la corteza terrestre; el diagnóstico de la enfermedad de la mina; la idea que le lleva a construir una teoría; toda su vida es para él la Geología.

Abarca, pues, muchas cosas distintas, y cada una requiere su especial punto de vista, su enfoque, su dimensión y escala. Querriamos acercar un poco al profano a todos estos puntos de vista, ayudándole a salvar las barreras que un vocabulario especializado y unos cuantos conceptos peculiares, muy pocos en rigor, oponen obstáculo más aparatoso que real, a la comprensión y simpatía de una ciencia tan asequible al nivel medio del hombre de la calle, como muy pocas lo son.

Claramente hemos sugerido que la geología puede ser ciencia muy teórica, muy especulativa, o muy práctica, muy de la vida de cada día, a la que tienen que recurrir muchas de las actividades profesionales, tanto manuales como intelectuales, y que admite además, al puramente aficionado, constituyendo ciertamente apasionante entretenimiento para muchos.

esto de la  
logía. Dis-  
is facetas  
conoci-  
ito geoló-  
gico.

Es objeto de la Geología el conocimiento de la disposición de los materiales que constituyen nuestro globo terráqueo, de las causas que originaron dicha disposición y de los efectos de los agentes que la alteran. Cualquiera de las actividades geológicas que hemos mencionado, unos pocos ejemplos elegidos al azar, no son sino facetas de este conocimiento.

Si gozamos en la contemplación de una obra de arte,

por ejemplo, una catedral gótica, podemos derivar igualmente nuestro placer de observar, desde un punto de vista lejano, el maravilloso efecto del conjunto, su armonioso equilibrio, su ingravido encaje de piedra, o bien de escudriñar al detalle la delicada labor que trazó el cincel del artista en los arabescos de un capitel. Ambas emociones estéticas pueden ser igualmente intensas, pero nuestro ánimo se prepara de manera muy distinta al análisis y percepción de sus cualidades, porque sus escalas, sus problemas artísticos son fundamentalmente distintos. El conocimiento del edificio de la Tierra, puede igualmente referirse a su conjunto, o limitarse al estudio detallado de un problema muy local, muy especial; es esta aparente falta de toda coincidencia entre la posición que adopta el geólogo que estudia y describe fenómenos de carácter general, y lo que espera encontrar la persona acostumbrada a interesarse en la solución de problemas geológicos muy localizados, y muy precisamente planteados, la que desconcierta con frecuencia el público en sus contactos con la geología como ciencia teórica.

rcicio de  
ría y de  
ráctica  
gica, co-  
uy dis-  
ntas.

La inmensa mayoría de los no especialistas se acerca a la geología con la idea fija, con el concepto preconcebido de que esta ciencia constituye un recetario de soluciones fijas a problemas bien definidos: la fuente que se ha secado, el filón que se ha perdido, la muestra de mineral que encontró al labrar las tierras, el estribo que falló en el muro de una presa, y queda desconcertada ante un cúmulo de conceptos generales, elucubraciones semifilosóficas, soluciones imprecisas, todo ello vestido de un ropaje verbal un poco sibilino. Y es que en pocas ciencias se hallan tan distantes, tan remotos sus dos aspectos teórico y práctico; sus dos polos tan opuestos, pero también tan inseparables

como los de un imán, y en pocas ciencias influye tanto la cuestión de las dimensiones, de la escala, como en el enfoque de un problema geológico. Nos proponemos acercar al profano a la geología como ciencia teórica.

sición de la  
ología entre  
s demás  
encias. Su  
carácter espe-  
lativo o filo-  
fíco. Su an-  
je en la rea-  
ad de las  
sas como  
ncia natural

Tal como hemos definido la Geología, la hemos limitado a su sentido más estricto, al conocimiento de la disposición de los materiales; ahora bien, su ejercicio exige el conocimiento de estos materiales, que son criaturas de la naturaleza, combinaciones químicas regidas por leyes físicas y sometidas siempre a ellas. La Geología enlaza, pues, en el árbol de la Ciencia en el mismo nudo que la rama de las ciencias físicas y, sin embargo, tiene un carácter muy peculiar; hemos dicho que estudia la disposición de los materiales, pero también las causas que lo han originado y estas causas se han sucedido, variando, a lo largo de millones de años. Es un proceso sin testigos, que se ha de reconstruir partiendo de algunas huellas, documentos incompletos, testimonios mudos grabados en la corteza del globo, y esto le da un carácter peculiar, una técnica especial; una a modo de labor policiaca de reconstrucción de un suceso por una serie de circunstancias, coincidencias, huellas; por aquella mecánica detectivesca que permite llevar a un hombre a la horca, o liberar a un inocente, o conocer las condiciones de vida en la época visigoda; en una palabra, se vale esencialmente de la técnica de las Ciencias Históricas. Todo ello entraña, no sin riesgo, una técnica especulativa, elevación de lo particular a lo general, de lo concreto a lo abstracto, de efecto a causa; una extrapolación del razonamiento, que imprime a la Geología sello marcadamente filosófico, si bien sea sólo en su mecanismo, ya que, por otra parte, queda sólidamente anclada en la realidad de los hechos obser-

vados, única fuente de su conocimiento. Anuda, pues, muy cerca, en el tronco del árbol de la Ciencia, de la Filosofía.

rigencias  
iximas y mi-  
mas para su  
dominio

Veamos, sin embargo, que esta peculiar posición de la Geología, tan aparatosa, no debe asustarnos. La índole de esta ciencia es tal que para ejercerla adecuadamente, si se quieren abarcar todos sus aspectos, el bagaje científico necesario es complejo y variado, aunque dadas las circunstancias actuales de la vida y el desarrollo y extensión de la Ciencia, así como sus múltiples facetas, la especialización se impone casi imperativamente, aligerándola en modo considerable; pero, en cambio, una cultura corriente, y no especializada, puede bastarnos para comprenderla, si estamos en posesión de unos pocos conceptos generales que son los que nos proponemos exponer aquí.



## LA NOVELA DE LA TIERRA

teriales de  
corteza: mi-  
rales y ro-  
; Mineralo-  
y Petro-  
grafía.

Veamos ahora cuáles son los materiales, el estudio de cuya disposición es objeto de la Geología, y hasta qué punto hace falta conocerlos. Del globo terráqueo, sólo la corteza es accesible a nuestra percepción material, y aun de ella sólo una pequeña parte, un pequeño espesor, cuyo grosor está constituido por rocas y minerales; las rocas son, a su vez, agregados de elementos minerales. La variedad de los minerales es enorme, pero sólo un pequeño número de ellos es realmente importante, bien por su utilidad, bien por su abundancia. Los demás son más bien, o del todo, rarezas que sólo interesan al técnico y al especialista y de los que se puede prescindir para un conocimiento general. No es que despreciemos la importancia de los minerales; muchos son vitales para la humanidad, y, precisamente, la necesidad de metodizar su búsqueda y producción es la que dió nacimiento a la geología. Pero son pocos los que realmente cuentan para la constitución de la corteza; su conocimiento es fácil. Aun es más importante otro detalle: Sus acumulaciones en estado de mayor o menor pureza, son escasísimas, casi despreciables en comparación con la masa de la corteza. Constituyen los llamados criaderos que, explotados, si son suficientemente ricos, se convierten en minas.

Pero en general las sustancias minerales se encuentran reunidas en agregados cuya composición no es enteramente

caprichosa, pero en la que caben toda clase de tránsitos de unos a otros, y estas agregaciones cuya consistencia puede ser variable, pero que con frecuencia son duras y compactas, son las rocas.

Del brazo entran, pues, en la escena geológica la mineralogía y la petrografía. Son raíces del árbol geológico; más que ciencias auxiliares, son pilares en los que se sustenta la ciencia geológica. Vamos hacer su presentación sin su ampuloso ropaje; más aún que en traje de casa, en esqueleto, en su máximo esquema. Podemos insistir en una distinción que ya hicimos antes, como es la división natural que de una manera casi innata hacen los hombres, entre minerales, que aglomerados constituyen las sustancias de carácter pétreo, lo que en lenguaje vulgar se conoce como «rocas», y los de carácter metálico, a los que comúnmente conocemos como «minerales», si bien los geólogos empleamos estos términos con significación distinta.

s «minera-  
» son, com-  
rativamen-  
hablando,  
y escasos.  
oposición  
as «rocas».

La mayor parte de estas sustancias metálicas, que suelen designarse como «minerales», y que son objeto de explotación minera, suelen ser óxidos, sulfuros y carbonatos de los diferentes metales; muy pocos son los que se conocen en estado nativo, o sea como metales puros, y solamente el oro es objeto de explotación como tal. Por la pequeña proporción en que las sustancias metálicas forman parte de la corteza, carecen de significación geológica general; son sólo fenómenos secundarios o accesorios y no nos ocuparemos por ahora especialmente de ellos.

cal y la sí-  
e símbolos  
dos grupos  
reos opues-  
: los que  
nen su ori-  
n en el  
ua, y los que  
cen del  
fuego.

Entre los elementos que entran en la composición de las sustancias pétreas, dos nos aparecen con rango principalísimo y representando además, en cierto modo, la eterna dualidad geológica y humana: el agua y el fuego. Son estas sustancias la cal y la sílice.

La cal viva, o cal de encalar, es el resultado de tostar en un horno una roca, de la mayor pureza posible, constituida por carbonato de cal, llamada «caliza», cuyo origen se debe a precipitación química en el seno de las aguas, bien sean ríos o mares.

Los Picos de Europa en Cantabria, las Sierras del Cadí en Cataluña, las de Aitana en Alicante, son ejemplos de masas calizas, elegidos al azar entre las muchísimas montañas que en España están constituidas por piedra caliza.

La sílice, o anhídrido silícico, se presenta en la Naturaleza como un bello mineral, de duras y brillantes caras, el cuarzo.

Es abundantísimo en la Naturaleza, y muchas veces su origen es ígneo, pero aun más abundantes e importantes que el cuarzo mismo, son otros minerales de la misma familia, familia muy prolífera, la de los «silicatos» o compuestos de la sílice, y muy distinguida, puesto que de ella forman parte la mayor parte de las piedras preciosas. Sin embargo, no son estos brillantes miembros, las esmeraldas, amatistas, topacios, ópalos, etc., los que importan, sino los numerosísimos parientes pobres, la prole, que con su abundancia constituyen las masas de origen ígneo, nacidas del calor interior de la tierra. Estos silicatos son el resultado de la combinación de la sílice o anhídrido silícico, con álcalis y metales, con el aluminio, potasio, sodio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, titanio, etc. Estas combinaciones son, con frecuencia, minerales de agradable o curioso aspecto, como son las micas, feldespatos, piroxenos, anfíboles, olivinos, etc.

Pero tampoco nos interesan estos minerales como elementos sueltos, individuales, sino su agregación en masas generalmente duras y compactas, que son las rocas,

tierra, fría su superficie, alcanza su interior temperaturas elevadas, inmensas a la profundidad.

y entre las que consideraremos primero las de origen ígneo.

Los volcanes, con sus masas de lavas incandescentes, y terribles aureolas de sombrías nubes que reflejan rojizos resplandores de fuegos internos, han familiarizado de alguna manera a la Humanidad con la idea de que bajo la corteza terrestre existen masas incandescentes. Es una verdad a medias, que más adelante discutiremos, pero que ahora nos sirve bien sin más afinación. Pero sí parece cierto que el interior de la tierra «disfruta» de temperaturas elevadas, restos de un enfriamiento progresivo, y que todo el globo terráqueo ha pasado por etapas en que estuvo en estado completo de fusión. Al enfriarse es cuando se formó la corteza terrestre, como una escoria flotante en su superficie, y que está constituida por rocas de origen ígneo, las cuales no son sino agregaciones de silicatos; estos agregados no se hermanan a capricho, obedecen a las leyes de afinidades químicas y a las del equilibrio físico. Los elementos químicos que los componen estaban disueltos en las masas fundidas sin diferenciar. Según las condiciones de presión y de temperatura, al producirse el enfriamiento, se fueron combinando, de acuerdo con sus afinidades y constituyendo los silicatos; y éstos, a su vez, según sus temperaturas de fusión y condiciones de presión, se fueron agrupando y constituyendo unos u otros tipos de rocas. Si el enfriamiento fué lento, los diferentes silicatos pudieron cristalizar con calma y sus elementos alcanzaron el tamaño suficiente para ser perceptibles a simple vista. Es el caso de los granitos, constituidos por cuarzo, feldespato y mica, y que están ampliamente representados en nuestras Sierras de Guadarrama y de Gredos. Si el enfriamiento fué más rápido, «cuajaron» las masas fundidas sin dar tiempo a crecer los cristales, que quedaron de tamaño microscópico. Las rocas,

rocas de origen ígneo, tan del enfriamiento de las masas fundidas o magmas.

condición de enfriamiento, factor determinante en la diferenciación de los tipos de rocas.

entonces, nos parecen a simple vista masas uniformes, y aunque compuestas por fragmentos de propiedades muy distintas, éstos son tan diminutos, que a simple vista no se pueden discernir. En este caso rocas muy distintas en su composición pueden presentar aspecto análogo. Para diferenciarlas y conocer su distinta composición, nuestra vista necesita un poderoso e imprescindible auxiliar: el microscopio.

os factores  
diferencia-  
ción.

Pero las rocas difieren, como acabamos de decir, no sólo por el tamaño de su grano, sino por su composición, aunque es posible que todas ellas provengan de una misma masa en fusión, de propiedades y composición única. Esta masa en fusión, o «magma», contiene todos o casi todos los elementos conocidos en la naturaleza, pero la mayor parte de ellos en proporciones pequeñísimas y sólo unos pocos, entre ellos los antes citados, se encuentran en grandes proporciones.

Obedeciendo a complicadas leyes físicoquímicas, y según las condiciones variantes de presión o temperatura, se favorecen unas u otras uniones entre estos elementos.

Los silicatos de primera formación, es decir, los de temperatura de más alta solidificación, se separan, y así se enriquece el magma con los restantes. Dada la cantidad de diferentes materiales que entran en estos complicados equilibrios químicos, se comprende que en número de agregados o «rocas» resultantes de un mismo magma pueden ser distintos, y extraordinariamente variados, cuando varían las condiciones de presión y temperatura que intervienen en su segregación.

La sílice, el cuarzo, tal como lo vemos, es apático, absolutamente estable y no muestra afinidad ninguna ni deseo de acción o reacción con los materiales contiguos; pero en

as ígneas  
tipo ácido  
e tipo bá-  
sica y sílica.

estado líquido, con su elevada temperatura de fusión, o aun más, en estado gaseoso, es decir, a temperaturas de magma, es avidísimo de unión con otros elementos, sobre todo con los óxidos de los metales. Entonces actúa como ácido, y éstos como base. La sal resultante de su combinación es el silicato, y el agregado de silicatos, la roca. En una roca, de este origen ígneo, la sílice es el elemento más abundante y su proporción varía entre el 40 y el 80 por 100 del total de la masa. Las rocas que son muy ricas en sílice son conocidas por esta razón como ácidas; las menos ricas, como básicas. En general, las primeras son de tonos claros y las segundas de tonos oscuros; aquéllas más ligeras, éstas más pesadas, como más ricas que son en elementos metálicos. La cuestión del tamaño del grano es independiente, y en una misma composición se tienen rocas de grano grueso, visible a simple vista, o bien de grano fino, cuya diferenciación requiere el uso del microscopio. Esto depende sobre todo de la velocidad de enfriamiento. Para la clasificación de las rocas ígneas se tienen en cuenta estos factores, casi, aunque no del todo independientes: composición de la roca y tamaño de los granos, o textura.

extremos  
se tocan;  
nitos y bá-  
saltos.

De acuerdo con esos criterios los sistemas de clasificación se exponen en cuadros encabezados por un extremo por las rocas ácidas (su prototipo: el granito); al otro extremo por las básicas (su prototipo: las peridotitas); como intermedias tenemos, del lado de las ácidas, las alcalinas intermedias (ejemplos, la traquita, el pórfido, la diorita, la andesita, etc.), y, del lado de las básicas, las alcalinas básicas (ejemplos, los basaltos, doleritas y gabros). Como rocas más corrientes, y más conocidas de todos, y en un deseo de generalizar y facilitar la comprensión, las vamos a simbolizar, tomándonos para ello alguna libertad, por un lado

en los granitos, de grano grueso, o al menos distinto, tipo ácido, colores claros y cristalización lenta; por otro lado, en los basaltos, o lavas, de grano microscópico, tipo básico, colores oscuros y enfriamiento rápido.

Con esta simbolización extrema y pensando en que son legión los tipos intermedios, podemos dar por terminado el capítulo de las rocas de origen ígneo, que deben su origen y características al enfriamiento de masas fundidas existentes en nuestro globo, bien haya ocurrido ello hace cientos de millones de años, o bien estén surgiendo actualmente, en Méjico, en cualquier volcán al que se le haya ocurrido abrirse paso a la superficie, de la noche a la mañana.

Las formas  
en el seno  
de las aguas:  
las sedimentarias: calizas, yesos, arcillas, etc.

Pasemos ahora, para completar nuestro bagaje petrográfico, a las rocas que se han formado en el seno de las aguas, aunque constituyan las cimas más altas de los Alpes o del Himalaya. Son estas rocas, las calizas, ya citadas, y además, los yesos, las capas de carbón, y muchas otras que, en general, reconoceremos fácilmente por un carácter muy terminante; a saber: que están dispuestas por tongadas, o estratos, como las capas alternantes de bizcocho, nata y chocolate de una tarta, y por la misma razón, porque se han depositado ordenada y sucesivamente las unas sobre las otras. Son los posos que las aguas han ido decantando y que, dispuestos en capas, se han petrificado cuando aún estaban en su seno.

Las rocas sedimentarias en muchas de sus orígenes inmediatos a la destrucción de las rocas ígneas, y sobre su origen remoto.

Pero además de estas rocas calizas, o yesosas, ¿no están también las areniscas? ¿Y no hemos visto en ellas granos de cuarzo y aun laminillas de mica? ¿Tienen, pues, algo que ver con los granitos? Desde luego que sí, los granitos y todas las demás rocas, ígneas o no ígneas, cuando se hallan en la superficie de la Tierra están sometidas a constante

destrucción; se fragmentan en trozos grandes, pequeños, diminutos; en bloques de grandes dimensiones o en cantos más grandes que el puño, en gravillas, en arenas, en barro, en polvo impalpable. Todos estos restos, en los que pueden estar representados todos los tipos de rocas, o si están muy desmenuzados, todos sus componentes, son arrastrados por las aguas de lluvia a los ríos, por los ríos, al mar o a los lagos, y allí se depositan lenta, pero incesantemente, hasta reunirse en lechos y tongadas; éstos, en gruesas capas, y las capas en grandes espesores, al mismo tiempo que se petrifican y consolidan en mayor o menor grado. A estas rocas, formadas de fragmentos, producto de la destrucción de otras más antiguas, constituidas por detritus, se les llama detriticas, y constituyen un grupo muy importante. Como formadas en el seno de las aguas aparecen separadas en capas o lechos, o estratos, o sea, estratificadas.

Las detriticas conglomeradas, areniscas, arcillas.

Si en su composición predominan los cantos gruesos, se les llama conglomerados, y más especialmente, pudíngas, cuando aquellos están redondeados, o rodados, y brechas, si son angulosos. Areniscas, si los detritus son finos, no más gruesos que gravilla, o casi invisibles a simple vista. Arcillas, si los detritus son extremadamente finos. Tanto unas como otras pueden tener consistencia pétrea, durísima, o deshacerse con la mano, según sus condiciones de petrificación. Generalmente, cuanto más antiguas son más duras, compactas y oscuras. Las arcillas en este caso adquieren dureza, brillo y color peculiares y se denominan, entonces, pizarras, aunque este carácter pizarreño puede ser adquirido no sólo por la edad, sino además por otros procesos; las areniscas adquieren dureza extraordinaria, sello especial, y son conocidas como cuarcitas.

Si consideramos que en la masa de la corteza terrestre

predominan las rocas de origen ígneo y que, además, sus elementos constitutivos son mucho más duraderos, no nos extrañará encontrarlos con más frecuencia entre los detritus, que petrificados dan lugar a las rocas detríticas. Tomemos por ejemplo el granito, constituido por mica, feldespato y cuarzo (1); este último es prácticamente indestructible, y como granos más o menos finos forman la mayor parte de las areniscas, y aun de los conglomerados. Las micas resisten mucho menos, pero, con todo, bastante; por eso es frecuente verlas brillar en las rocas detríticas. Los feldespatos sucumben pronto, se alteran y se descomponen y dan lugar a complicados silicatos, de finísimas dimensiones, que dan toda clase de facilidades a ser arrastrados, en suspensiones coloidales, lavados, transportados muy lejos, mezclados con otros, parecidos y distintos, y coagulados en complicadas mezclas que son las arcillas.

Si tenemos en cuenta que los tipos puros de estas rocas son raros, que las areniscas siempre contienen arcillas en mayor o menor cantidad, que las arcillas suelen ser más o menos sucias o arenosas, que al depositarse en el seno de las aguas y al petrificarse siempre arrastran una mayor o menor cantidad de cal, tendremos entre calizas, arcillas y areniscas toda la infinita gama de tonos intermedios, margas, arenosas, calizas margosas, margas calíferas, margas sucias, margas arenosas, arcillas margosas, etc.

Nadie podrá echarnos en cara el haber cargado con un bagaje petrográfico excesivamente pesado; es ciertamente muy ligero y elemental, pero suficiente para las escaramuzas

(1) Cuarzo: los granos translúcidos, blancos, de brillo graso. Feldespato: los granos blancos o rosados, mates o de brillo sedoso. Mica: las laminillas hojosas, brillantes, blancas, pardas o negras.

petrográ-  
el principal  
collo para  
na divulga-  
ón geoló-  
gica.

geológicas que deseamos desencadenar. Ciertamente es que, con toda intención, hemos dejado fuera del morral un grupo no despreciable, el de las rocas metamórficas; pero de momento no nos corre prisa y ya llegará la ocasión de ocuparnos de él más adelante.

La mineralogía y la petrografía, en rapidísima visión, nos han suministrado un ligero conocimiento de los materiales esenciales de que está construido el globo terráqueo; ahora ya podemos pasar al estudio de su disposición, y de las causas que la han originado y que la modifican; o sea, de la Geología.

o se crea-  
las prime-  
ocas: ori-  
de la Tie-  
su remo-  
creación.

Ya nos hemos referido antes a la importantísima dualidad de elementos que rigen la marcha, y que son la vida misma de nuestro mundo, el agua y el fuego, pero de estos dos elementos corresponde al fuego la primacía de la antigüedad. Su entrada en escena es muy anterior a la del agua, y en su ardiente crisol se fundieron primero, y cristalizaron después, los materiales que constituyen el Globo. El agua entra más tarde, mucho más tarde, en guerra declarada con ellos, constantemente los destruye, y, si bien es verdad que luego se complace en reconstruirlos de nuevo, bajo otras formas, es sólo para volver a destruirlos.

Y, aunque no sea más que para satisfacer una muy justa y lógica curiosidad humana, vamos a remontarnos al origen del mundo. Haremos un viaje de *turistas*, observándolo superficialmente sin meternos en grandes profundidades. Cojámonos de la descarnada mano del viejo Cronos y remontémonos por el curso del tiempo, contra el reloj, a velocidades fantásticas hasta su origen, y con 3.000 millones de años quizás nos baste para llegar al nacimiento de nuestra Tierra.

Tierra una  
licula de  
inmenso  
iverso.

¿Qué es nuestra Tierra? Un planeta, que forma parte

del sistema solar. ¿Y el sistema solar? Un pequeñísimo elemento de una galaxia o, dicho en otras palabras, de una nebulosa espiral, compuesta de millones de estrellas. Esta nebulosa espiral es de dimensiones verdaderamente indescriptibles, inverosímiles, totalmente sobrehumanas, casi tan incomprensibles como la Eternidad, o como el espacio infinito, y, sin embargo, existen dimensiones más inverosímiles aún, más sobrehumanas, donde caben muchas de estas nebulosas espirales. Su conjunto es el Universo y, lo grandioso es que su inmenso tamaño aumenta y aumenta, ya que las galaxias se alejan unas de otras; se expande inverosímilmente. Quizás esta expansión no es indefinida; es posible que el Universo se contraiga y dilate, periódicamente, en pulsaciones.

¿Existió primeramente sólo la energía, la radiación, y fué la materia resultado de una de estas catastróficas concentraciones? No se sabe, ni quizás se sabrá nunca, pero se ha tratado de evaluar la edad de la materia y la cifra resultante se calcula entre seis y diez billones de años.

Las galaxias están compuestas, pues, de estrellas, y la índole de éstas varía en grado sumo. Muchas, a temperaturas terroríficas, no son sino torbellinos arrebatados en que la materia y la energía están apenas diferenciadas. Otras, en grado más avanzado de concentración, poseen núcleos metálicos incandescentes rodeados de atmósferas abrasadoras con violentísimas erupciones de energía. El sol es una de éstas, y es tiempo ya de que volvamos a ocuparnos de nuestro modesto planeta.

El origen del sistema solar es aún objeto de discusión, y quizás resultado de la colisión o la proximidad excesiva de las trayectorias del sol y de alguna otra estrella de mayor masa, cuya atracción sobre la deformable masa solar des-

gajó de ella una serie de masas gaseosas que, obligadas por las leyes de la gravitación universal, empezaron a girar alrededor del sol, enfriándose desde entonces gradualmente, lo que pudo ocurrir hace 2.000 ó 3.000 millones de años. Este sería, pues, el origen de nuestra Tierra, y también el de los demás planetas del sistema solar. Un proceso parecido pudo formar más tarde la Luna, a partir de la masa aún incandescente de la Tierra.

Enfriamiento de la masa ática incandescente, a la diferenciación de sus materiales.

La Tierra ha pasado, pues, por una etapa original en que su masa, totalmente fundida, fué enfriándose y solidificándose lentamente. En ella se encontraban, en proporciones muy variables, los elementos químicos que conocemos, y que se fueron separando por densidades, por afinidades y por sus temperaturas de solidificación, de acuerdo con las leyes de los equilibrios físico-químicos. No podemos prescindir, por su comodidad, de la manoseada comparación con un horno metalúrgico. En el centro tenemos una masa metálica en fusión, en cuya superficie se van reuniendo y flotan las ligeras escorias. De manera análoga se supone que al enfriarse la materia terráquea se separó un núcleo de hierro y níquel y a su alrededor, más ligeras, se dispusieron las escorias, los silicatos, las futuras rocas, todo ello rodeado de una atmósfera incandescente cargada de vapores de metales y metaloides. Al avanzar el enfriamiento, corrientes de convección van originando diferenciaciones y acumulaciones variables en la superficie de las escorias, que, por estas razones, no son completamente uniformes. Estas van solidificándose (rocas), y como el enfriamiento es muy lento, la cristalización se verifica con gran regularidad, pero la costra aún no es muy sólida, y las mareas, originadas por atracciones y conjunciones con otros astros, agrietan la superficie y nuevas masas fundidas vierten al

a Tierra, como parte del sistema solar.

exterior, modificando la composición y textura de la corteza de rocas cristalinas.

Formación de una atmósfera cuifera. Primeras lluvias. Comienza la destrucción de rocas ígneas y la formación de las sedimentarias.

Dejemos pasar muchos millones de años. El enfriamiento ha progresado muchísimo. La atmósfera ha quedado totalmente purificada de vapores metálicos y ya su composición es relativamente parecida a la actual. Todavía un ligero enfriamiento y la atmósfera saturada de vapores de agua se condensa; se producen las primeras lluvias torrenciales, rápidamente evaporadas de nuevo al contacto de una Tierra aún ardiente. Es difícil imaginarlo y mucho más difícil acertar en estas hipótesis, pero quizás se produjo una época turbulentísima en que torrenciales diluvios acompañados de rapidísimas evaporaciones, en un ambiente sombrío cargado de densísimas nubes, no pudo por menos de originar cambios rapidísimos en las condiciones atmosféricas, productoras de desordenados y poderosos huracanes.

Lo cierto es que desde el momento en que se condensó la primera gota atmosférica y pudo alcanzar la Tierra como lluvia, comenzó el eterno proceso de la destrucción de las rocas y de la acumulación de sus restos para formar nuevas rocas, y la lucha permanente entre los elementos atmosféricos y las rocas superficiales.

Constitución interna del globo: su núcleo, una masa de hierro níquelífero. Su corteza, una costra de silicatos.

Hemos dicho que la Tierra se solidificó después de separarse en ella un núcleo metálico y una costra de silicatos. ¿Cómo ha sido posible llegar a esta certidumbre? Es que la Tierra se ha podido no solamente medir, sino también pesar. Su diámetro máximo, en el Ecuador—ya que está ligeramente achatada por los Polos—, es de 12.756 kilómetros y su circunferencia de 40.000. Digamos de paso que se mueve a velocidad media de 29,76 kilómetros por segundo en su trayectoria alrededor del Sol. La densidad

de la Tierra, dado su peso y su volumen es de 5,5. Ahora bien, sabemos que el espesor conocido de la superficie es mucho más ligero, ya que la densidad media de las rocas que constituyen la corteza es de 2,5, y también se sabe que a profundidades mucho mayores que las que son accesibles a la observación directa los materiales que las componen son también más ligeros. Así, pues, el núcleo ha de estar constituido por otros más pesados que los que corresponden a la densidad media 5,5 antes citada, para que por compensación de la deficiencia del peso de la corteza con el exceso del núcleo se llegue a esta cifra. Por cálculos basados en esta combinación de densidades, por sus propiedades elásticas y magnéticas y de otros diversos modos se ha llegado a la conclusión de que el interior de la Tierra está constituido por una masa de hierro y níquel; cual sea su estado físico es objeto de especulación. No parece probable que esté en estado sólido; su temperatura, aunque elevada, no lo es exageradamente, y no rebasa probablemente los 4.000°. A esta temperatura y a las presiones normales le correspondería estar en estado gaseoso. Pero las presiones que existen en el interior del Globo no son fácilmente calculables, ya que ignoramos cómo se comportan los materiales entre la corteza y el núcleo en lo que se refiere a su resistencia; pudieran actuar como sucesivas bóvedas, sin transmitir la presión al centro; no obstante, lo probable es que excedan mucho de las mayores obtenidas en los laboratorios.

Las leyes de equilibrios físicos que se manejan habitualmente, tienen determinados límites, rebasados los cuales ya no son válidas, o al menos, no se tiene la certeza de que lo sean. Así, pues, en lo que se refiere al estado del núcleo, todo son conjeturas. Quizás la presión allí es tal, que, a

pesar de la temperatura elevada, todo se mantiene en estado sólido. También puede ser que esas combinaciones de temperatura y presión originen estados de propiedades desconocidas que permitan conservar al mismo tiempo el estado gaseoso y propiedades elásticas como las de los sólidos.

Los terremotos, exploradores del interior del globo terráqueo. La Geofísica

Es curioso el hecho de que la naturaleza del interior del Globo se puede explorar por medio de los terremotos, cuyas sacudidas se transmiten con velocidad relacionada con la compacidad y elasticidad de las materiales. Por otra parte, no es preciso esperar a que ocurra un terremoto para efectuar estos estudios. Una carga de explosivos, enterrada, origina un pequeño terremoto cuando estalla, y sus sacudidas, aunque tenues, pueden ser registradas a muchos kilómetros de distancia, en los sismógrafos, o aparatos registradores y analizadores de los terremotos. Por medio de estos aparatos, e interpretando sus señales por medio de cálculos nada sencillos, se pueden conocer las velocidades de propagación de las sacudidas en las diferentes capas de la Tierra, y, por ende, sus compacidades, elasticidad, y algunas otras de sus características. Estos estudios competen a aquella rama de la Geología denominada Geofísica.

Textura discontinua en capas concéntricas.

De esta manera se ha podido determinar que, o bien la composición, o bien las propiedades físicas de los materiales de la Tierra, no varían uniformemente del centro a la superficie. Se supone compuesta de un núcleo y de varias capas, muy pocas, cuyas superficies de separación son, a veces, muy netas. Las más importantes de estas discontinuidades, que señalan cambios en la composición y estructura del interior del Globo, se sitúan a las profundidades de 60, 1.000 y 3.000 kilómetros. La primera, la de 60 kilómetros de profundidad, se supone que marca el límite in-

La capa más externa constituida sobre todo por síma, sobre el que flota el sial.

ferior de la auténtica corteza, la masa de variadas rocas, agregados de silicatos, de textura cristalina, rígida. En esta capa, de 60 kilómetros, están comprendidas no sólo espesores de rocas sedimentarias—cuya importancia en masa es tan despreciable con relación a la de las rocas cristalinas, que no se toman en consideración—, sino las masas cristalinas que arman los continentes, y que constituyen los fondos de los océanos y sobre todo el grueso zócalo en que descansan unos y otros (desde la cumbre más alta del Himalaya a la más honda fosa submarina, no representan más de 16 kilómetros de los 60). Como los campos de hielo que cubren Groenlandia, como el casquete polar, así descansan las pétreas masas de los continentes, y aun las que constituyen los fondos de los océanos menores, sobre la gran masa cristalina de aquella costra de cerca de 60 kilómetros de espesor. Y es que los continentes, aparte de las formaciones sedimentarias, están constituidos, sobre todo, por masas de las rocas cristalinas ácidas, claras, cuyo prototipo es el granito, más ligeras que las rocas básicas, pesadas y oscuras, que constituyen la mayor parte de la masa de esta primera capa de 60 kilómetros, cuyos prototipos son la peridotita y el basalto.

Ya dijimos que las rocas ácidas se caracterizan por una mayor riqueza en sílice ( $\text{SiO}_2$ ), pero también en alúmina, el óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), y por lo cual al conjunto de esas rocas se las conoce simbólicamente con el nombre de *Sial*. Por el contrario, las rocas básicas son combinaciones de la sílice con la alúmina, pero en su composición toman parte, además del hierro, y como elemento más distintivo, el óxido de magnesio, y, por tal razón, a ese grupo se le conoce con el nombre simbólico de *Sima*.

Tenemos, pues, que esa costra de 60 kilómetros pre-



senta una dualidad de condiciones: por un lado, un fondo continuo de *Sima*; por otro, una cubierta discontinua de *Sial*, cuyos contornos coinciden, *grosso modo*, con los de los continentes, y que constituyen, además, los fondos de los mares y de los océanos menores: el Atlántico, por ejemplo. Presenta cicatrices o depresiones en cuyo fondo, si fuera visible, observaríamos el *Sima*. La mayor de esas depresiones en las que falta la capa de *Sial*, viene a coincidir con el océano Pacífico, cuyo fondo está constituido, según se cree, por el *Sima* desnudo. Pero 60 kilómetros no son nada comparados con el radio de la Tierra. El conjunto *Sima-Sial* es ligera película para el enorme grosor del Globo.

restantes  
as: sima  
stico; zona  
óxidos y  
sulfuros metá-  
s, y núcleo  
de nife.

Probablemente la primera discontinuidad, bajo esa capa de 60 kilómetros, corresponde más que a cambio en la composición a variación en el estado físico de la materia. Desde los 60 hasta los 1.000 kilómetros continúa el *Sima*, el magma inicial, indiferenciado. Su estado físico es problemático y desconocido; parece que sea una masa a temperatura elevada, en estado no del todo rígido, que permite lentas deformaciones, sujetas a periódicas oscilaciones, como mareas, ocasionadas por conjunciones estelares. A los 1.000 kilómetros se produce otro cambio. A partir de allí la masa terráquea no contiene sílice, y está compuesta no por silicatos, sino por óxidos y sulfuros metálicos. ¿En estado de fusión? No se sabe con certeza. A los 3.000 kilómetros de profundidad los óxidos y los sulfuros no pueden existir en las condiciones físicas que allí se dan y comienza el núcleo de Níquel y Hierro, el *Nife*. ¿O consiste quizás el interior de la Tierra de materia solar indiferenciada?

tiempo, tes-  
imposible  
todos los  
te cimien-  
geológicos.

Enfrentémosnos ahora con uno de los actores más importantes del drama geológico, que ya ha hecho alguna lige-

ra entrada en escena. Es un viejo, en cuyo apergaminado rostro y apagada mirada se retrata la experiencia; todo lo ha visto y todo lo ha conocido. Una túnica apenas encubre su seco y enjuto cuerpo; sostiene una guadaña con un brazo casi tan seco como el mango de aquélla. A sus pies hay un reloj de arena. Es Cronos, el Tiempo personificado; un Titán, hijo de Urano, el Cielo, y de Gea, la Tierra, que se unió con su hermana Phea, y devoró a sus hijos para evitar lo que el Destino había anunciado como inevitable: ser destronado por uno de ellos. Y Cronos, símbolo del Tiempo, devora implacablemente a sus hijas, las horas.

Este viejo, Cronos, vió caer las primeras lluvias, desagregarse las primeras rocas, formarse los primeros sedimentos. Los ha visto acumularse lentamente, llenando profundas depresiones, hasta sumar enormes espesores; los ha visto plegarse y elevarse, constituyendo ingentes cordilleras, y, finalmente, ha sido testigo de cómo éstas eran degradadas, desaparecían, se allanaban, destruidas lentamente por los agentes atmosféricos. Cronos conoce toda la historia de la Tierra, pero, desgraciadamente, es mudo, y sus testimonios, escritos en la Naturaleza, maltratados por él mismo, son incompletos, fragmentarios, difíciles de descifrar.

El sabe los períodos inacabables del tiempo que son necesarios para arrasar la más pequeña montaña, los miles y miles de años que han tenido que pasar para que se construyan y se solidifiquen los bancos de piedra caliza, y las eras necesarias para su acumulación en los grandes espesores en que hoy día los vemos amontonados.

Tiempo co-  
o agente y  
mo factor de  
medida.

En un doble sentido, con doble personalidad, pero siempre como primera figura, interviene en nuestro drama. Por un lado, presidiendo el lentísimo, imperturbable movimien-

to creador y destructor de la Naturaleza, como factor fundamental de todo proceso geológico; por otro lado, ayudándonos a dividir su historia en períodos, permitiéndonos remontarnos al pasado, situar en él sus fases, constituir la ciencia histórica.

Así nos señala los dos caminos de la Geología: el de la Geología física, que nos conduce al conocimiento de los fenómenos que actúan en la Naturaleza, del efecto de las fuerzas naturales sobre los materiales de la corteza; procesos sólo comprensibles con la ayuda del factor Tiempo; el otro camino es la Geología histórica, que nos conduce al estudio del orden en que se han desarrollado esos fenómenos, sus características en las distintas épocas, la sucesión de las diferentes etapas de actividad o descanso, y su fijación en el tiempo.

Reanudamos  
la historia de  
la Tierra.

Retrocedamos con la imaginación millones de años; coloquémonos de nuevo ante el horrísono espectáculo de un Globo de ardiente corteza, en que increíbles corrientes de aire y desencadenados huracanes sacuden una espesísima y densa masa de nubes que los rayos del sol no pueden penetrar. Cargado el ambiente de electricidad, un continuo retumbar de descargas eléctricas, chasquidos espantosos de ruido ensordecedor, nos rompen los tímpanos. Siniestros fulgores lívidos, y otros más lejanos, rojizos, ponen un momento de espectral claridad en la negra masa de nubes. Estamos presenciando las primeras lluvias que, apenas caídas en una corteza que aún abrasa nuestros pies, se evaporan instantáneamente, acreciendo la espesa masa de vapores que nos rodea por todos lados. Espectáculo dantesco, sin fondo ni horizonte, el que despliega el mundo, con sus primeras lluvias, ante nuestros aterrorizados ojos.

Pero las evaporaciones de estas inmensas masas de

agua atmosférica roban rápidamente el calor a la corteza. Ya la lluvia empieza a reunirse en charcos que tardan en evaporarse; ya se juntan en un torrentillo; ya se forman ríos, cuyos caudales se van reuniendo en aquellas inmensas y negras simas de rocas volcánicas, anegándolas.

Comienza el  
eterno ciclo  
erosión-sedi-  
mentación-  
erosión. ciclo  
erosión-sedi-  
mentación-  
erosión.

Se ha desencadenado el eterno proceso de erosión y sedimentación. Las aguas, al caer, arrastran partículas arenosas, guijarros, incluso enormes cantos, con irresistible fuerza torrencial. Un ruido ensordecedor de las corrientes de agua precipitándose en cascadas, arrastrando masas de piedra, se superpone al caer monótono de la lluvia. En el seno de las aguas en movimiento, unas piedras chocan con otras; se golpean, arrancándose las aristas, triturándose mutuamente, reduciéndose a fragmentos y polvo, que encenaga las aguas, al mismo tiempo que machacan las rocas que constituyen los cauces, profundizándolos y ensanchándolos continuamente.

Los primeros  
cursos de  
agua. Los pri-  
meros lagos y  
mares.

Estos incesantes diluvios que, poco a poco, van disipando la tenebrosa masa de acuíferos vapores que rodean a la Tierra, alimentan constantemente los recién creados cursos de agua. Se eleva cada vez más el nivel de las aguas, en las irregulares depresiones que existían en la corteza, las cuales se van colmando de esas aguas muy turbias, llenas de lodos, y agitadas por los continuos huracanes que no permiten su decantación. Golpean constantemente las orillas arrancando trozos de la costa, que se hunden en el seno de las turbulentas aguas, y que rápidamente destrozados, a su vez, son lanzados de nuevo como potentísimos arietes, al asalto y destrucción de la costa.

Pero el enfriamiento prosigue. La atmósfera se va aclarando, y los rayos del sol la atraviesan ya iluminando tenuemente la superficie de la Tierra. La evaporación es mu-

cho más lenta. Ya no se originan aquellas violentas diferencias de presión que producían tan espantosos huracanes. La mayor parte de la masa de vapor de agua se ha condensado. La superficie del Globo está, en gran parte, cubierta por las aguas. Extensos océanos, de irregulares formas, bordean extraños continentes formados por oscuras y cristalinas rocas, desnudas de toda vegetación, brillantes y limpias, muy lavadas por las lluvias.

¿Existió un océano universal?

Quizás llega un momento en que el nivel de las aguas se eleva tanto que cubre toda la superficie de la Tierra. Habría que atribuirlo no solamente a la condensación de la mayor parte de la inmensa masa de vapor de agua que rodeaba al Globo, sino también a la destrucción y allanamiento del relieve por la acción de los continuos y turbulentos diluvios, de las torrenciales corrientes que surcaron la volcánica superficie, destruyéndola y arrastrándola al seno de las aguas. ¿Existió realmente este Océano Universal hace más de cien millones de años?

¿Dónde se depositaron las masas de lodos?

Sea como fuere; existiera una masa continua de agua sobre la corteza, o emergiesen en su superficie masas continentales más o menos desmanteladas por la erosión, es lo cierto que los materiales arrancados del antiguo suelo se depositaron, se sedimentaron en el seno de las aguas oceánicas. Los impetuosos ríos arrastraban no solamente inmensas masas de lodos en suspensión, sino arenas, incluso gravas, que llegaron transportadas a las desembocaduras. Mezcladas allí las aguas fluviales con las oceánicas, perdida ya la energía de transporte, todos estos fragmentos de rocas, estos lodos, fueron sedimentándose en los fondos de los mares; los más pesados, en las zonas costeras, pero los más finos, los que quedaron en ingrátida suspensión enturbiando las aguas oceánicas, fueron dispersándose, y,

poco a poco, descendieron a los lejanos fondos oceánicos, y allí constituyeron delgadísimas capas de casi impalpables sedimentos. Pero, además, las costas, batidas constantemente por los temporales y las mareas, se desmoronan, son destruidas, primero, en grandes bloques; luego, en más menudos fragmentos ya redondeados, perdidas sus aristas a fuerza de golpes.

Es así como, espesos sedimentos se van fijando a lo largo de las líneas de la costa; más espesos aún donde los ríos van acumulando sus detritus en las desembocaduras, en los inmensos deltas. Estos detritus son muy bastos en la costa, donde los temporales los mueven y los golpean, pero no pueden arrastrarlos lejos por ser excesiva su masa; pero otros, más finos, son arrastrados más lejos y allí depositados; así, pues, si nos alejamos de la costa observaríamos que los materiales sedimentados allí son más finos, más ligeros, pero también que, los espesores acumulados son, como consecuencia, menores.

¿Cómo se comportan los sedimentos blandos en las costas y en las zonas oceánicas?

Estos sedimentos, grandes cantizales en la costa, o playas de rodados cantos, o de oscuras y finas arenas volcánicas y de gravas en áreas más alejadas de la costa, de lodos en las alejadas zonas oceánicas, de lodos y arenas mezcladas o en capas alternantes en los deltas de los ríos, ¿nos recuerdan realmente las rocas? No demasiado; no están consolidadas, los podemos remover con la mano, dibujar en ellos figuras con el dedo. Pero esto ocurre hace más de cien millones de años, Cronos es todavía poco más que un chiquillo que está dando sus primeros pasos, pero Cronos crece, y el tiempo pasa. El agua de los océanos, al parecer inerte, está llena de invisible actividad. Ciertamente que no hay aún en ella la menor señal de vida, pero no en vano las aguas destruyeron millones de toneladas de rocas y no sólo

las disgregaron, sino que disolvieron algunos de los elementos que las constituían; así no solamente alcanzaron salsedumbre, sino que se cargaron de una serie de elementos minerales, entre ellos sílice y cal, logrando así el poder de mineralizar, de consolidar.

Los factores que facilitan la acumulación de sedimentos: el tiempo y la deformabilidad de la corteza.

Los sedimentos se acumulan muy lentamente en las zonas costeras, incluso en los deltas de los ríos, donde es más palpable la aportación. Una vida humana, por larga que sea, no es suficiente para apreciar cambios sensibles en la configuración de las costas, en los espesores de sedimentos y mucho menos en su consolidación en rocas; pero pensemos que esta acumulación de sedimentos ocurre, continúa ininterrumpidamente durante cientos, durante miles de años; incluso se tiene alguna idea del ritmo a que esta acumulación se verifica. No es difícil, por ejemplo, medir los sedimentos que contiene un metro cúbico de la turbia agua del Ebro en Tortosa, y también es cuestión sólo de paciencia saber lo que contiene cada día del año, y, por consiguiente, el promedio por cada metro cúbico de caudal. Ya hace años que los ríos se aforan cuidadosamente y se puede conocer el caudal medio que cada año vierte el Ebro en el Mediterráneo, y el volumen de sedimentos que deposita cada año en el delta, y, ciertamente, esta cifra nos sorprendería; es enorme. Su efecto en las dimensiones del delta, es mensurable. No hace muchos años que las lanchas descargaban la pesca en puntos que hoy están en el interior, alejados de la costa.

El descenso del fondo factor esencial en la acumulación de sedimentos.

Sin embargo, este crecimiento en longitud nos da idea incompleta del crecimiento total, porque se verifica también, y en mayor grado, en profundidad, por descenso del fondo en que reposan.

Este es un fenómeno universal en Geología, y de gran

trascendencia, porque esa masa de sedimentos tan considerable pesa, y su peso es inmenso. Son millones de metros cúbicos de materiales más densos que el agua y su peso es de millones de toneladas. La corteza terrestre no puede ser insensible a esta acumulación de sedimentos que gravitan en algunas zonas determinadas de ella. La corteza, como hemos dicho antes, no es una costra rígida, sino una costra constituida por una serie de prismas, o dados irregulares de *Sial*, adosados unos a otros, apoyados unos en otros a lo largo de irregulares superficies, que descansan sobre una masa *Sima* relativamente plástica. Así, pues, tenemos unos materiales sedimentarios que se acumulan en determinadas zonas, sobre la superficie de estos bloques, ocultando sus juntas; a su vez estos bloques de materia cristalina, de rocas hipogénicas, se apoyan en la masa viscosa, semiplástica de magma amorfo, en el *Sima*. Puede incluso ocurrir que la base de aquellos prismas pierda gradualmente su cristalinidad, se haga plástica, se difunda en el magma, enraizando en él; pero, en todo caso, este magma acusa el efecto de esta acumulación de peso y cede lenta, lentísimamente, hundiéndose, deprimiéndose bajo los bloques sobrecargados. Su plasticidad es débil, pero, aunque lenta y retrasadamente, va huyendo, apartándose de debajo de los bloques y éstos se hunden obligados por el peso de los sedimentos.

Por eso estos materiales, en vez de acumularse y taponar los ríos o extenderse indefinidamente mar adentro hasta rellenarlo, conservan su nivel admitiendo nueva acumulación de sedimentos. Es el fondo el que va descendiendo lentamente y es así como los espesores engruesan de manera constante.

proceso de rificación los sedimentos.

Otro fenómeno importantísimo en Geología, y que ya

hemos mencionado de pasada, es la transformación que experimentan estos materiales acumulados en el seno de las aguas y dispuestos en capas o estratos, y el carácter fundamental de esta transformación es que conduce gradualmente a un estado final en que los posos o sedimentos se consolidan, se lapidifican, se transforman en piedra, en roca viva.

Es un proceso complejo y no muy bien conocido en su detalle, pero esto no tiene gran importancia práctica, porque de que ocurre así, no cabe la menor duda, y, además, no hace falta forzar la imaginación para comprender, no como es exactamente, sino como puede ser.

La presión y los procesos químicos de mineralización, los principales agentes petrificadores.

Los sedimentos acumulados en estas depresiones pesan con una fuerza enorme e irresistible; los situados más al fondo están sometidos, pues, a presiones fantásticas, y no es difícil imaginar que así lleguen a consolidarse y formar sólidas y duras rocas. En cualquier laboratorio farmacéutico, con fino polvo de medicamento y la presión de una palanca o un tornillo movidos a brazo pueden obtener una pastilla dura y consistente; pues las presiones inmensas que ejercen los sedimentos, sobre los que tienen debajo, hacen el mismo efecto; expulsan la mayor parte del agua y los comprimen de tal manera, que de los lechos de arenas, se producen duras rocas, las areniscas; del cascajo y cantos rodados, las pudingas, durísimas casi siempre, sobre todo, si los cantos son de cuarzo; de los lodos, barro y arcillas salen las margas, y, si las presiones son extraordinarias, es decir, si las profundidades que alcanzaron fueron muy grandes, se obtienen las pizarras en las que la presión produce planos de exfoliación, que le dan su textura hojosa o «pizarreña».

Pero hay otros factores petrificadores de una gran importancia en la consolidación de los sedimentos sueltos y su



conversión, lenta y gradual, en rocas. Son factores químicos y derivan de que las aguas en que la sedimentación se produce contienen en disolución sales, sobre todo, carbonato de cal, que contribuyen no sólo a cementar los sedimentos en masa pétreo, sino a darles características especiales.

Es el descrito, proceso complejo, que empieza en la atmósfera y que va desde la destrucción de rocas en la superficie de la Tierra hasta la formación de rocas en el seno de las aguas, bien sean lagos o mares. La atmósfera contiene anhídrido carbónico, el gas de los vinos espumosos, de las gaseosas y de muchas aguas minerales; este gas arrastrado por las aguas de lluvias les comunica relativa acidez, muy pequeña, pero capaz de atacar las rocas, en muy leve grado. Este ácido carbónico, es especialmente ávido de la cal que contienen las rocas, y aunque no deja de obtenerla de rocas de otros tipos, incluso de los granitos, tiene gran preferencia por las rocas calizas, tan abundantes en grandes áreas de la corteza terrestre. Las aguas pluviales, pues, atacan las rocas de la superficie del Globo, sobre todo las calizas, y lentísimamente, levísimamente, cierto es, las van descomponiendo; van desgastando sus superficies; la cal arrebatada es arrastrada en disolución por las aguas y conducida al seno de los mares o de los lagos, y si este proceso continúa por millones y millones de años, las cantidades totales de cal en disolución son enormes.

Las aguas en donde se depositan los sedimentos, contienen por consiguiente cal en disolución. Ciertamente en cantidad variable, que depende de las circunstancias regionales, tales como tipos de rocas que rodean la zona acuífera de que se trate, proporción de calizas, cantidad de sus lluvias, contenido en ácido carbónico de la atmósfera, etc.

Pues bien, esta cal es un elemento petrificador de pri-

mer orden. No se sabe exactamente cómo ocurre este proceso lentísimo, que se produce a presiones muy grandes, y en circunstancias que no pueden reproducirse experimentalmente en los laboratorios. Hay mucho de enigmático en ello, pero solamente en el detalle minucioso. Puede preocupar a los sabios cuya misión es procurar explicarlo todo, llevado a su último extremo, pero, en cambio, es proceso que la imaginación acepta sin repugnancia y que entra dentro de la lógica elemental. Si la cal mezclada con el agua traba la piedra y el ladrillo con solidez tal que aún se alzan soberbias las torres medievales que las guerras no destruyeron, no hay razón para rechazar que la cal en el seno de las aguas dé consistencia a las rocas, e incluso constituya ella misma una clase muy importante de rocas, las calizas. Así, pues, las aguas de lluvia disuelven lentísimamente las calizas superficiales, las transportan al seno de las aguas, lagos o mares, y las reconstruyen allí con lentitud pareja. Pero no solamente forman calizas puras o más o menos impuras, sino que ayudan a consolidar las arenas y constituyen areniscas calíferas, o maciños; con las arcillas forman margas, o si contienen mucha cal, margas calizas, e incluso, calizas margosas, y en fin, contribuye como elemento petrificador a dar enorme variedad a la gama, indefinida en matices, de las clases de rocas sedimentarias.

Y no sólo la cal, sino también otras soluciones químicas contribuyen a consolidar las sales, y entre ellas ocupa un papel acusado, tras de la cal, la sílice.

Quisiéramos hablar ahora de la influencia que en la formación de las calizas tienen los organismos vivientes, sobre todo, aquellos que se revisten de conchas, pero ello sería adelantar acontecimientos, y hemos de resignarnos a dejar-

lo para más adelante, cuando, dentro de millones de años, aparezca la Vida en nuestro Globo.

Por ahora, estamos aún sobre una Tierra palpitante en su actividad creadora y destructora. Las rocas son destruídas y arrastradas y llevadas al seno de las aguas, para alcanzar allí nueva solidez, pero es una Tierra triste, sin el menor vestigio de vida. Desnuda de plantas, desierta su superficie, vacíos los mares de todo ser animado, sean animales o vegetales. Reina en ella tremenda soledad, donde sólo los agentes atmosféricos y las fuerzas internas actúan incansables, a ritmos variables, y todavía muy rápidos.

El grupo de las rocas metamórficas de características intermedias entre las ígneas y las sedimentarias.

Tenemos ahora idea de cómo, en el seno de las aguas, se forma todo aquel grupo importantísimo de rocas que, junto a las de origen ígneo, desempeñan función tan importante en la corteza terrestre; el de las rocas sedimentarias; desde las arcillas a las calizas; desde las areniscas de fino grano a los conglomerados, que a veces contienen incluso enormes bloques; desde las pizarras a las margas. Pero existe aún un tercer grupo de rocas de características en cierto modo intermedias, entre las sedimentarias y las hipogénicas, también muy importante, con gran significación en la corteza, tanto por la gran extensión superficial que abarcan, como por su distribución mundial, y por su significación económica, como rocas portadoras y generadoras de minerales útiles. Son las rocas metamórficas.

Desde la temperatura ambiente en la superficie del Globo hasta la de 4.000° que se calcula reina en el interior, hay un aumento gradual con la profundidad. En las capas más superficiales es de 1° por cada 33 metros; lo que se llama el grado geotérmico y se puede medir tanto en los sondeos profundos, como en las minas, en una palabra, siempre que se profundice suficientemente en la corteza.

En aquellas minas en que se trabaja a gran profundidad, el trabajo es muy penoso, y sería imposible si además de ventilarse, no se refrescasen introduciendo aire frío desde el exterior. La más profunda del mundo, la de Tamarac 6, de cobre, en el Lago Superior, no rebasa los 1.620 metros, y el mantenimiento de sus explotaciones se considera verdadero alarde de la técnica. Pues bien, si consideramos que los sedimentos, al acumularse en espesores de muchos miles de metros, alcanzan profundidades muy grandes bajo el nivel de los mares, comprendemos sin dificultad que alcancen temperaturas elevadísimas. Se acercan, incluso llegan, al nivel en que está el *Sima*, aquella masa plástica o viscosa de silicatos oscuros y pesados que estarían en fusión flúida de no hallarse sometidos a presiones tan elevadas.

Hemos mencionado que la corteza se comporta como si estuviese formada por un mosaico de bloques de *Sial*; los silicatos cristalinos y ligeros, que tienen sus bases en la superficie del *Sima*. Al cargarse con el peso de los sedimentos estos bloques se hundén, cedén a la presión; en parte, la que ejercen por su base bajo ellos rechaza el *Sima* lateralmente; en parte, la base se va fundiendo y va siendo asimilada y digerida por aquel. En todo caso, su altura se acorta, su grosor va disminuyendo y las rocas sedimentarias van acercándose al *Sima*. Las rocas no son insensibles a estos cambios de situación y condiciones; bajo temperaturas muy elevadas, sus elementos se funden, reaccionan unos con otros, se combinan químicamente, y estas reacciones son aceleradas por la acción de las emanaciones activas que desprende el *Sima*. La arena que contienen casi siempre las rocas sedimentarias, sílice al fin y al cabo, produce al anhídrido sílico, muy activo a esas temperatu-

Los sedimentos, al alcanzar por hundimiento zonas profundas de la corteza se metamorfizan por calor y por presión.

ras y que se combina produciendo silicatos, elementos cristalinos análogos a los de las rocas ígneas. Las sedimentarias se transforman, se metamorfosean, adoptando características cristalinas, de rocas metamórficas. El grado de esta transformación es muy vario. Si la profundización es máxima, los sedimentos pueden ser asimilados totalmente por los magmas; entonces las rocas se granitizan, o sea se transforman en granitos y pierden totalmente sus características sedimentarias; a veces, conservan ligera huella de su primitiva estratificación, y el granito presenta una serie de planos paralelos que recuerda a los estratos o capas, que no es propia de los auténticos granitos, y que sorprende al geólogo cuando la ve en la superficie; otras veces, algún fragmento, en manera casi inexplicable, escapa a la acción metamórfica, y conserva más claramente sus características sedimentarias entre la masa granítica. Si las capas no alcanzaron tan gran profundidad, y la temperatura no fué tan elevada, la transformación no llegó a completarse; fué sólo parcial. Se formaron los silicatos fundamentales del granito: el cuarzo, la mica y los feldespatos, pero una inconfundible estructura fajeada, hojosa, como la del hojaladre, es testimonio irrefutable de su primitiva disposición en estratos. Así son los neises, con su gran variedad de aspectos y características. Fajas de colores grises o negros compuestas de infinidad de laminillas de mica, contornean los cristales, grandes o pequeños, de feldespato. Otras zonas, más alejadas del magma, sufren menor transformación. Ya no se forman los feldespatos, ni el cuarzo, y la roca aparece transformada en micacita, con textura pizarreña, formada por la acumulación de infinidad de laminillas, de hojitas de mica, lo que da siempre aspecto fajeado, y tendencia a romperse o separarse en hojas y laminillas, a ve-

ces en fibras. Así las micacitas, las sericitas, las pizarras micáceas, ricas, a veces, en bonitos silicatos como son los granates, los anfíboles, las turmalinas. Más lejos todavía del *Sima*, o sea, más cerca de la superficie, la transformación es menor, quizás imperceptible. La gran presión de los sedimentos ha aplastado las rocas, sobre todo, las arcillosas, y les ha dado la típica textura de las pizarras, que se separan en lajas, y la temperatura, aún elevada, les ha dado colores oscuros, como quemados, brillantes y satinados. Su estratificación se conserva bien, pero a veces aparece enmascarada, porque los planos de exfoliación de las pizarras originadas por la presión son oblicuos con respecto a aquella pueden aparecer más claros y más importantes que la estratificación misma.

Otro efecto de la temperatura es que, al calentarse las rocas, se dilatan, y si lateralmente no encuentran manera de extenderse y expansionarse, comprimidas también arriba por el enorme peso de los sedimentos superiores, se repliegan sobre sí mismas en infinidad de plieguecillos y circunvoluciones, que no siempre ocurren, pero que caracteriza con frecuencia a las rocas metamórficas.

Si el espesor de los sedimentos aumentase indefinidamente, su base se irá granitizando y aumentando el volumen de los magmas, enriqueciendo el *Sima*; pero los procesos terrestres son cambiantes; alguna vez se detienen. Por eso a menudo aparecen como aureolas del magma, la zona más profunda, la de los sedimentos granitizados; en tránsito gradual la de los gneisses, que, poco a poco, pasan a micacitas, y éstas a las pizarras quemadas, las cuales, hacia arriba, sustentan las rocas sedimentarias normales, que por no haber alcanzado la profundidad suficiente, han escapado a la metamorfosis.

Aunque a primera vista parezca más difícil, es, no obstante, más sencillo reproducir estos fenómenos experimentalmente que los de lapidificación, en que nos hemos ocupado antes, y en los laboratorios se han llegado a producir combinando las presiones y las temperaturas adecuadas, y suficientemente altas, rocas metamórficas a partir de muestras de rocas sedimentarias. Pero, a pesar de todo, es mucho más fácil y comprensible por un mero esfuerzo de imaginación reconstruir el proceso de lapidificación que el de la metamorfosis.

Todos estos fenómenos pueden producirse de manera inversa, y, en efecto, se producen; de modo que esas rocas metamórficas pueden igualmente crearse y se crean, siempre que una masa magmática se introduzca, se inyecte, dentro de masas sedimentarias, lo que, con relativa frecuencia ocurre, y por las causas que estudiaremos más adelante.

Cómo podemos conocer los fenómenos que ocurren en zonas profundas de la corteza? Inesababilidad de ésta.

Ahora bien, si tanto los fenómenos de sedimentación, y, sobre todo, los de petrificación, se producen en el seno de las aguas, y, muchas veces, a profundidades inaccesibles, y si las rocas metamórficas se transforman en zonas de la corteza, que escaparán siempre a la observación humana, ¿cómo podemos conocer estas transformaciones?

Las cordilleras surgen del seno de las aguas.

Es que este Globo terráqueo nuestro, estas montañas que vemos, al parecer, tan muertas e inanimadas, esos mares que juzgamos tan estables y permanentes, están en continua evolución y transformación; vibran y palpitan, se mueven, se alzan sus estratos en ingentes cordilleras surgidas del seno de los mares para ser de nuevo destruidas y arrastradas a ellos suministrando los materiales para la renovación de este proceso eterno.

Consideremos las rocas que constituyen la superficie de



nuestra Península; más de las tres cuartas partes de su área se han formado en el seno de las aguas, bien en fondos de mares, bien en lagos y lagunas; únicamente en el NO, O, y parte del centro predominan las que se formaron a expensas de magmas ígneos. Y no cabe la menor duda acerca de aquello. No es sólo que su disposición en capas o estratos indican claramente su origen sedimentario, o de decantación de lodos o sedimentos, sino que, además, las encontramos con frecuencia cuajadas de restos petrificados de peces, de moluscos o de otros seres que no viven, ni han podido vivir nunca, más que en el agua, que es su elemento vital. En las cumbres más altas del Himalaya, la más ingente cordillera del Globo, existen esas petrificaciones o fósiles, que también existen en las cumbres de los Alpes, del Pirineo, y, en general, de casi todos los sistemas montañosos de la Tierra.

Las cumbres del Himalaya contienen restos de seres marinos.

Con lo ahora dicho hemos anticipado un poco los acontecimientos, pues queríamos seguir por sus pasos la evolución del Globo, y aún no habíamos llegado a ese acontecimiento rodeado de singular misterio: la aparición de la Vida. Pero no podíamos prescindir de la fuerza argumental de este testimonio de inigualable eficacia.

Ahora bien, los sedimentos de un estanque, se depositan en posición horizontal; apenas los de los bordes de un lago o del mar tienen ligerísima inclinación, adaptándose a la forma y pendiente de sus orillas.

Durante millares de años, millones de personas han labrado campos, construído caminos, carreteras y ciudades entre rocas dispuestas perfectamente en estratos, y colocadas, unas veces, horizontalmente, otras verticales, o inclinadas en cualquier sentido, o dobladas en repetidos pliegues. De la misma manera que antecesores nuestros, ar-

mados de piedras aguzadas, mal vestidos de pieles o desnudos, cuando se dedicaban a cazar el mamut, o los osos de las cavernas, vieron rodar infinidad de veces las piedras, o los troncos, sin que se les ocurriera la idea de fabricar una rueda; de la misma manera que un niño de nuestros días encuentra natural que una caja de madera hable, igualmente el hombre ha andado y sigue andando entre rocas y montañas sin que se extrañe esta variedad en la posición de las rocas, ni su semejanza con los pliegues a arrugas que el mismo observa y origina continuamente, le sugieran, por asociación de ideas, similitud de origen.

Las cordilleras están constituidas por sedimentos plegados.

Ya hace algunos cientos de años que algunas, muy pocas, gentes observadoras, hicieron notar que esas rocas podrían haberse formado en el seno de las aguas, pero no hace muchos más de cien, que a alguien se le ocurrió que hubieran surgido de él mediante presiones, que levantándolas, comprimiéndolas y trastornándolas, las han colocado en las atormentadas posturas en que con frecuencia las contemplamos ahora, afectando complicados pliegues. Ciertamente que muchas veces son las aguas las que se han retirado gradual y pacíficamente dejando en seco los sedimentos que hoy se nos ofrecen a la vista con la perfecta horizontalidad original, pero, quizás con más frecuencia, estos sedimentos han sido comprimidos lateralmente, entre pétreas mordazas, que las han estrujado con fuerza irresistible levantándolas desde los miles de metros de profundidad a que se encontraban en el fondo de los mares, hasta muchos miles de metros sobre su nivel, donde ahora las observamos, si es que aún no han sido destruídos por los elementos, y por eso, donde era mar, hay ahora cordillera. Así, nuestros Pirineos, nuestras cordilleras Béticas y Cantábricas, las Ibéricas sierras y, en una palabra, las zonas

más arriscadas y montañosas de nuestro suelo, se alzan donde antes existían mares.

¿Cuál es el mecanismo que las hace surgir? ¿Cómo se desencadenan estas fuerzas colosales? Por ahora bástenos con la certeza de que así fué, es y seguirá siendo, mientras el mundo sea mundo. Parece imposible que fenómenos de tal escala y trascendencia pasen inadvertidos y que haya sido preciso que hombres dotados de minucioso sentido de observación y análisis, nos hayan llamado la atención sobre ello. Nuestro viejo Cronos sonríe, en la majestad de su edad y experiencia, ante nuestra ignorancia.

Un viejo truco del cine, tan viejo, que por gastado ya no se emplea, nos ha presentado con frecuencia, siempre con buen éxito de hilaridad, el espectáculo del afanoso tráfico en uno de los más bulliciosos cruces de Nueva York, por ejemplo, el de la Quinta Avenida con la calle 42. De repente, como por arte de encantamiento, los coches han salido disparados a fantásticas velocidades, y se cruzan, se sortean, se pasan con inverosímiles guiñadas, parando después en seco, y entonces, una muchedumbre loca, vertiginosa, cruza de lado a lado con histéricos movimientos. O bien es un documental en que literalmente vemos en pocos minutos cómo una semilla recién plantada, echa sus raicillas que rápidamente se extienden, engruesan y se entretajan, mientras el tallo surge y se estira con espasmódicos movimientos, echa sus ramitas y hojillas, abren las flores en veloz y fugaz primavera, y rápidamente se agosta marchitada y muere, no sin dejar antes caer las nuevas semillas vivificadoras. Estamos viendo en pocos momentos lo que ocurre durante meses.

Si nos fuera dado hacer lo mismo con cualquiera de los senos marinos en que actualmente se depositan sedimen-

tos; si durante millares y millares de años un aparato tomavistas fotografiase el proceso, el lentísimo proceso, nos sería posible al final observar, en excepcional sesión de cine, ver formarse una cordillera. Tras de acumularse en el fondo los sedimentos, amontonándose en masas de estratos, los veríamos surgir de la superficie del agua, elevarse, plegarse, romperse, volcarse sus capas y estratos, al mismo tiempo que los agentes atmosféricos, los hielos, las aguas, los torrentes luchaban por destruirla, y sería de gran emoción ver si era mayor la velocidad a que trabajaban las presiones levantándola, o los agentes atmosféricos destruyéndola, incluso podríamos hacer apuestas sobre la altura que podría alcanzar en vista de esta apasionante lucha.

Nuestra vida es demasiado corta para apreciar estos cambios. Hemos ido en nuestra infancia de excursión a la Ciudad Encantada de Cuenca y nos hemos familiarizado con la forma y el tamaño de sus riscos; volvemos en la madurez, iremos quizás en nuestra vejez, y nos parecerán idénticos, inmutables, insensibles. Y, sin embargo, se están desgastando, y quizás se elevan aún en masa con toda la Serranía. Es un proceso tan inmensamente lento, tan desproporcionado en su escala, con nuestra medida del tiempo, que escapa totalmente a nuestra percepción, aunque no, afortunadamente, a nuestra imaginación.

Este mecanismo del plegamiento es el que explica por qué los capas que constituyen mucha parte del suelo de nuestra Península, y del Globo en general, están con frecuencia inclinadas, levantadas, replegadas o rotas.

Cuatro fenómenos básicos de la Geología: sedimentación, petrificación, metamorfización y plegamiento.

Hemos descrito en breves rasgos cuatro de los fenómenos más importantes que intervienen en la formación de rocas, y en su disposición en la corteza, así como en la conformación de ésta: la sedimentación de los productos

suelos que resultan de la destrucción de las rocas; su transformación lentísima y gradual en estratos firmes de roca viva, de variadas características; su posible transformación, mediante el calor interno y las presiones, en rocas metamórficas; su surgimiento del seno de las aguas, mediante inmensas presiones laterales, para formar montañas y cordilleras, o bien mediante sencilla retirada de los mares.

Reanudamos  
la historia del  
Globo.

Volvamos a donde dejamos nuestra historia de la Tierra, hace muchos millones de años, cuando pasadas las primeras épocas de enfriamiento, de gran anormalidad por la índole y ritmo del acontecer geológico, el Globo adquiere su temperatura actual, o muy parecida a ella, y puede decirse que empieza el ciclo de acontecimientos normales. Esto podría haber ocurrido hace unos 2.000 millones de años. Se admite que desde entonces hasta acá, y no a la ligera, sino con buenos fundamentos para ello, los fenómenos se han venido verificando siempre de una forma y a un ritmo parecido. Por la observación de lo que queda de los sedimentos más antiguos, de los intermedios y de los modernos, por el examen de los restos de las más viejas cordilleras de las que no quedan sino huellas de sus raíces, y de las más recientes que aún alzan orgullosas sus cumbres a millares de metros, llegamos a la conclusión de que el tipo de fenómenos, su ritmo, sus características, los climas y su variedad, no eran esencialmente distintos unos de otros, ni de los actuales, que observados hoy en día, pueden ser analizados y estudiados con mayor o menor facilidad. Esta circunstancia afortunada es la que ha hecho posible el establecimiento de la Ciencia Geológica. Gracias a ella podemos valorizar e interpretar los hechos, a veces, muy incompletos, que aún podemos observar de las

Ley del actualismo o de la persistencia de causas y efectos a través de los tiempos geológicos.

épocas más antiguas. La Ciencia Geológica se apoya, pues, en la posibilidad de aplicar al pasado el criterio formado sobre los fenómenos que tienen lugar en la actualidad. De la misma manera que el historiador, para interpretar, e incluso, deducir, los acontecimientos históricos del pasado, aplica a las figuras o muchedumbres de entonces las reacciones que observa la actualidad, porque las pasiones, cualidades y defectos del hombre son inmutables, el geólogo aplica a las diferentes épocas geológicas los principios obtenidos de la observación de los fenómenos actuales, o los que deduce de aquellas épocas más recientes cuyos documentos están más completos. Es lo que se llama método o ley del *actualismo geológico*. Ciertamente que su aplicación no puede ser demasiado literal; es una posibilidad de alcances limitados, y, cuando se rebasan, se cae en el error, y ello ha ocurrido en el pasado inmediato y se trata de rectificar en la actualidad. Es cierto que, en líneas generales, se produjeron los fenómenos como hoy en día, pero quizás pudieron combinarse en determinadas épocas de otra manera, o pudieron intervenir agentes o circunstancias desconocidas. Hablaremos de estas limitaciones más adelante y por ahora nos aprovecharemos de la parte en que es válida, porque aunque incompleta y limitada, es la ley, el método, la herramienta fundamental, de que se vale el geólogo. Los escultores griegos, sin aceros especiales ni herramientas neumáticas, con su cincel y martillo, lograron obras de arte maestras. La ley del actualismo, aunque imperfecta, ha hecho posible la Geología moderna.

Limitaciones  
de la ley del  
actualismo.

Así, pues, y armados de esta herramienta del actualismo geológico, vamos a volver a nuestra historia donde la dejamos, precisamente en un punto crucial. Porque es el momento en que, enfriada la Tierra hasta alcanzar una tem-

peratura muy cercana a la actual, los fenómenos geológicos entran en la normalidad: aclarada la atmósfera, regularizadas las lluvias y los vientos, empieza a desarrollarse el ciclo normal. Es el momento, a partir del cual es aplicable, con sus limitaciones, pero también con sus inmensas posibilidades, la ley del actualismo. Antes de ese momento, las cosas «han podido» ocurrir tal como las hemos descrito, pero en realidad nos movemos en el terreno nebuloso, en el que unos pocos hechos verosímiles se unen por los elásticos lazos de la fantasía, más o menos sujeta por el freno de las leyes físicas. A partir de ese momento no sabemos muchas veces exactamente cuáles son los hechos que se han producido, ni cómo han ocurrido, pero sabemos cómo «han debido» ocurrir en cada caso. Es decir, si surgió una cordillera, sabemos cuál fué su mecanismo; y sabemos también cuál es el tipo de fenómenos que se pudo producir, aunque no los conozcamos todos.

La Geología, ciencia histórica. División de los tiempos geológicos.

Una de las tareas más importantes de la Geología es establecer la sucesión cronológica de los acontecimientos, estudiando sus características. En realidad la Geología se divide en dos partes fundamentales: una, puramente objetiva, podríamos decir teórica, en la que se estudian los fenómenos desligados de su colocación en el tiempo; es la Geología Física, o Fenomenología, que analiza y describe los diversos procesos de surgimiento de montañas, su destrucción, acción de los agentes atmosféricos, etc., en sus causas y efectos, y que ligeramente hemos esbozado. Otra parte, la Geología Histórica, estudia la ocurrencia y sucesión de estos fenómenos a lo largo de los tiempos, expresando sus características; sus medios de trabajo se basan, por una parte, en los conocimientos logrados por la Geo-

logía Física; por otra parte, en los procedimientos de las Ciencias Históricas.

Las rocas, fuente del conocimiento geológico.

Las fuentes del conocimiento de las Ciencias Históricas son, sobre todo, documentales: antiguos escritos, viejos pergaminos, actas, procesos judiciales, y, con determinadas reservas, la tradición oral. Las fuentes del conocimiento de la Geología como Ciencia Histórica, son las rocas mismas. Ellas son los testigos mudos, pero bien elocuentes, de los acontecimientos del pasado. Del mismo modo que los paleógrafos interpretan y leen documentos ininteligibles para la mayoría, los geólogos, en general, interpretan las rocas, y obtienen de su estudio un caudal de datos acerca de las circunstancias y condiciones en que se formaron, y las incidencias todas en que luego tomaron parte.

Los períodos geológicos. Su distinta escala de significación.

La Ciencia es, sobre todo, método y orden. De la misma manera que la Historia divide la de la Humanidad en épocas y períodos, reuniendo los que presentan características peculiares y cierta uniformidad, para mayor facilidad de exposición y comprensión, de la misma manera el geólogo divide la historia de la Tierra en períodos de características bien marcadas, que, no sólo facilitan su comprensión, sino dan puntos de referencia, hitos, a que referir el curso de los acontecimientos.

Pero así como en la época moderna el historiador posee documentación tan copiosa, que precisamente la labor penosa es la de selección, en las épocas antiguas aquella es tan escasa e incompleta que lo difícil es hacer el acopio, obtener la documentación, la fuente, por incompleta que ésta sea.

Conocemos bien, por ejemplo, el origen y desarrollo de las dos últimas guerras mundiales, y si la pasión, o el in-

terés, no ofuscarse con frecuencia a los historiadores, este conocimiento podría ser casi perfecto. Tampoco ofrece misterios el desarrollo de la guerra de los «Treinta años», o las intrigas de la época y reinado de Isabel de Inglaterra. Pero cuando nos vamos alejando en el tiempo, los acontecimientos son mucho más confusos y nebulosos; las fuentes son más escasas e incompletas, y el historiador ha de intuir o completar, ayudándose en medida racional por la imaginación, para llenar los huecos del incompleto mosaico, o completar las líneas del manuscrito borrado o palimpsesto.

Es necesario un tomo entero para describir los acontecimientos de los últimos cuarenta años, y es difícil completar un tomo para explicar la evolución de la humanidad en los miles de años que antecedieron a la civilización griega. El origen de la Humanidad es nebuloso, y muy problemático el desarrollo y distribución por el mundo de sus razas e idiomas. Poca Historia se puede hacer de ello.

Es lo mismo que ocurre en Geología.

La era Arcaica.

Sabemos que en larguísimos períodos de tiempo, cuando aun no había en absoluto vida sobre la Tierra, se produjeron fenómenos geológicos como en la actualidad. En conjunto integran lo que se denomina la era Arcaica de la Historia de la Tierra, que empieza cuando comienza a ser válido el método del actualismo, pero donde los documentos son tan confusos, que es trabajosísimo interpretarlos, y los resultados son muy incompletos todavía, y, ni mucho menos, pueden considerarse como definitivamente establecidos.

Durante el período arcaico, de inmensa duración, tuvieron lugar grandes y variados fenómenos geológicos, mal conocidos pero parecidos a los actuales.

En este período Arcaico, cuya duración es de muchos millones de años, mucho mayor que la de todos los demás re-

DIVISIONES MAYORES Y MENORES DE LOS TIEMPOS GEOLOGICOS Y DE LAS EPOCAS DE PLEGAMIENTOS

ERA	Duración en millones de años	SISTEMA	Edad en millones de años	PISO	FASES DE PLEGAMIENTO (Sólo las más importantes)	Epoocas de plegamiento										
Cuartario.	0,6	Cuartario.....	0,6	Aluvial. Diluvial.												
							Terciario o Cenozoico ..	24,4	Mioceno.....	Pontiense. Sarmatiense. Tortonense. Helveciense. Burdigalense.	Rodánicos. Estíricos.	Meso-Alpinos				
													Oligoceno.....	Aquitaniense. Estampense. Sannoisense.	Sávicos.	Alpinos
Secundario o Mesozoico.	55	Cretáceo..	60	Danés-Garumnense. Maestrichtense. Campaniense. Santoniense. Coniaciense. Turonense. Cenomanense.	Larámicos.	Paleo Alpinos										
							Neocretáceo	Senonense	Austricos.							
											Eocretáceo	Albense. Aptense. Barremense. Neocomiense-Wealdense.				

ERA	Duración en millones de años	SISTEMA	Edad en millones de años	PISO	FASES DE PLEGAMIENTO (Sólo las más importantes)	Epocas de plegamiento				
Secundario o Mesozoico.	60	Jurásico..	115	Superior { Oolita { Liásico {	Portlandense-Titónico. Neo-Kimméricos. Kimmeridgense. Lusitaniense. Oxfordense. Callovense Bathonense. Bajocense. Aalenense. Toarciense. Charmutense. Sinemuriense. Hetangense. Retiense.	Paleo Alpinos				
			175				Triásico.....	Keuper-Noriense. Muschelkalk-Ladnense. Buntsandstein - Werfenense.	Paleo-Kimméricos.	
			230				Permiano.....	Zechstein. Sajoniense-Rotliegendes. Autuniense.	Palatinicos.	Extinción Herciniana
			30						Saállicos.	
Primario o Paleozoico...	60	Carbonífero.....	260	Estefanense-Uralense. Westfaliense. Caliza de Montaña. Dinantense-Culm.	Astúricos. Sudéticos. Bretónicos.	Hercinianos o Variscos				

ERA	Duración en millones de años	SISTEMA	Edad en millones de años	PISO	FASES DE PLEGAMIENTO (Sólo las más importantes)	Epocas de plegamiento		
Primario o Paleozoico..	60	Devoniano.....	320	Gatlándes { Ordovicense {	Famenense. Frasnense. Givetense. Eifelense. Coblenense. Gedinense.	Ericos. Tacónicos.		
			380				Siluriano.	Ludlowense. Wenlockense. Llandoveryense.
			100					Ashgillense. Caradocense. Llandeilense. Arenigense. Tremadocense.
			Arcaico o Azoico.				100	Cambriano.....
580	Arcaico.....	Huronianos						
				2.000				

unidos, se arrasaron continentes, que fueron arrastrados a los fondos de los mares, donde se sedimentaron y petrificaron. Poderosos períodos de plegamiento hicieron surgir de ellos ingentes cordilleras que fueron presa de la erosión y destruídas hasta la raíz. Se desplazaron los mares de unas zonas y ocuparon otras; hubo erupciones volcánicas que extendieron sus mantos de lava. Climas glaciales dejaron en las rocas sus indelebles huellas, y otros desérticos crearon inmensos Sáhara, apenas reconocibles hoy día. Ha sido labor de muchos años, y lo será de muchos más, el analizar, sistematizar y poner orden, en el conocimiento del transcurrir de estos acontecimientos, pero hoy en día ha llegado a establecerse una historia más o menos vaga de su sucesión, y de su correlación, en diversas partes del Globo, porque es una característica fásica de los principales fenómenos geológicos que su ocurrencia y sus efectos se reflejan en zonas del mundo entero; no se limitan a zonas locales o regionales, sino que afectan a los continentes, a los hemisferios, incluso a la esfera entera. Por el estudio de las rocas sedimentarias y metamórficas más antiguas del Globo se ha llegado a saber cuál es el tipo de fenómenos que ocurrieron, y cuándo ocurrieron. Se les ha dado nombre, y se ha llegado a saber, en forma imprecisa, cierto es, cuál era la situación de los océanos y cuál la de las masas continentales. Así se ha llegado a saber que un Océano ha existido siempre allí donde ahora existe el Océano Pacífico; claro es que con contornos muy distintos y variables; y se sospecha que su fondo está constituido no sólo por las rocas magmáticas de la primera corteza, sino que incluso es el *Sima* el que sustenta masas de agua. Se ha llegado a establecer que hubo dos períodos: uno más antiguo, el Arqueozoico, y otro el Pro-

Universalidad  
de los grandes  
acontecimientos  
geológicos.

terozoico, separados por la surrección de unas cordilleras originadas por plegamientos denominados Laurénticos, o Suecofénicos cuya destrucción y arrasamiento ocasiona una discontinuidad que ha permitido separar los dos períodos Arqueozoico y Proterozoico. Se han localizado las raíces de esas cordilleras y se sabe dónde estaban los mares donde se sedimentaron los restos de su destrucción. Se sabe que hubo después otros plegamientos intensos seguidos de otras largas etapas de destrucción y sedimentación. Cada cordillera ha tenido su localización, su sello característico. Los sedimentos resultantes tienen también su matiz y ello permite diferenciarlos.

Y todo esto por el estudio de países y regiones donde las rocas arcaicas están replegadas, trituradas, metamorfozadas, quemadas, empapadas de magmas, cruzadas por filones, desfiguradas y transformadas.

Es una cosa curiosa para el profano, y nunca insistiremos bastante en ello, que una gran parte de los continentes actuales está formada por rocas de origen marino. El mapa geológico de España representa, en más de sus tres cuartas partes, rocas que han estado durante millones de años en el fondo de los mares; es decir, la mayor parte del área de España ha estado recubierta de mares hasta épocas geológicas relativamente recientes; y esto puede decirse del área de la mayor parte de los continentes, aunque no lo han estado total y permanentemente, sino en grados y formas muy variables y discontinuas en el tiempo y en el espacio. Y es que, aunque parezca inverosímil, al geólogo le es mucho más fácil situar en el pasado los mares, que las zonas emergidas, y la posición de éstas ha de deducirla, con frecuencia, por las características de los sedimentos ma-

rios, sobre todo los costeros; es decir, por la posición y configuración de los antiguos mares.

Hubiera o no mar universal cuando comenzaron a ocurrir fenómenos geológicos como los actuales, es lo cierto que hubo un momento en que surgió la primera cordillera, debida a plegamiento de las capas, sedimentadas en los fondos de los mares por la destrucción de las rocas cristalinas de la primitiva corteza. Este plegamiento pudo tener su origen en una contracción de la Tierra, debida a su enfriamiento gradual. La necesidad de adaptar su superficie a un volumen menor originó un pliegue, o pliegues, unas cordilleras que emergieron del mar. Provocado así el ciclo geológico erosión-sedimentación-erosión, tuvo lugar todo el acontecer de los períodos geológicos del Arcaico, que no es sino repetición de los mismos fenómenos, pero siempre con localizaciones y características algo distintas y peculiares, que permite diferenciarlos y situarlos.

El Arcaico en el mundo.

Digamos de paso, que aunque no podemos detenernos a describir con detalle dónde se produjeron estos fenómenos, sí conviene decir que su teatro principal fueron la parte alta del hemisferio Norte, los actuales Canadá, Groenlandia, Países Escandinavos, Rusia y Siberia del Norte y, en el hemisferio Sur, gran parte del Continente Africano, La India, y en América del Sur, el Brasil. Allí estaban los primitivos mares, teatro de potentísimas sedimentaciones y espectaculares plegamientos. Allí surgieron las primitivas cordilleras y los océanos fueron sustituidos por tierras firmes surgidas de su seno.

Permanencia de las masas arcaicas como masas continentales, o al menos como masas rígidas.

Pero es interesante hacer notar un hecho muy importante, que ejerce influencia trascendental en la futura formación geológica del Globo. Muchas de aquellas masas continentales han subsistido siempre como Continentes;

ya nunca más fueron invadidas por los mares, o lo fueron leve y episódicamente. Es esto consecuencia de que, cuando una acumulación de estratos sedimentados, o, como habitualmente se le llama en Geología, una serie sedimentaria, ha experimentado plegamiento, su susceptibilidad a nuevos plegamientos está en relación inversa de la intensidad con que ha sido plegada. Es decir, si los empujes fueron tan potentes que los estratos quedaron violentamente plegados y rotos, estos resisten como una masa compacta a nuevos empujes; han perdido la capacidad de plegamiento.

Cuándo una masa pétrea es deformable por plegamiento.

Precisamente, el que una masa pétrea sea susceptible de plegamiento, depende de su disposición en estratos; es su textura en capas lo que hace posible su deformación y adaptación a acortamientos mediante formación de pliegues. Una mole granítica o de cualquier otra roca cristalina y homogénea, sujeta a fuertes presiones laterales, es incapaz de producir plegamientos. Se rompe, se resquebraja, se comprime algo, adquiere textura pizarreña; pero no puede plegarse, a no ser que una temperatura elevada le comunique cierto grado de plasticidad, la ablande. Es precisa la discontinuidad mecánica en capas o estratos, para que físicamente pueda responder a los empujes, plegándose. Lo comprenderá fácilmente el lector si piensa que los vehículos se montan sobre ballestas, sobre láminas u hojas superpuestas y discontinuas; *estratos*, en una palabra, porque esta discontinuidad permite un plegamiento, que origina la elasticidad. Una gruesa revista puede arrollarse y plegarse con toda facilidad, porque lo permite el resbalamiento de unas hojas sobre las otras, su discontinuidad. En cambio, un cartón del mismo grosor, que no es, al fin y al cabo, sino un montón igual de hojas encoladas unas



a otras, se doblará, quebrándose, o se romperá, pero no puede arrollarse ni plegarse.

La disposición estratiforme es la que permite el plegamiento.

Es, pues, necesaria esa disposición en capas o estratos, que dan la naturaleza y el origen sedimentarios, para que una acumulación de rocas pueda plegarse. Ahora bien; una vez que las capas están plegadas fuera de un límite, una vez que se rebasa el límite de elasticidad de los estratos, éstos se rompen y son ya incapaces de transmitir el esfuerzo. Por eso, si una masa sedimentaria ha sido tan violentamente plegada y trastornada que sus capas se han roto, entonces los esfuerzos no encuentran ya resistencia y toda la trastornada masa se acomoda al mínimo volumen, incapaz ya de nuevos plegamientos. Se comporta en adelante como una masa cristalina y nuevos esfuerzos pueden quebrarla y resquebrajarla, pero no replegarla.

Penillanuras o cordilleras arrasadas. Cratones.

Cuando surgió de los mares la primera cordillera, sus estratos perdieron, en parte o totalmente, su capacidad de plegamiento. Esta cordillera fué siendo gradualmente destruída por los elementos. Sus restos se acumularon a ambos lados, marginalmente, en las costas que la rodeaban, creando poderosas masas sedimentarias susceptibles de ser plegadas más adelante. Al mismo tiempo que la cordillera, o tierra firme, perdía cada vez altura y relieve, quedando arrasada, su carácter iba siendo menos montañoso, y se acercaba cada vez más su aspecto al de las llanuras, lo que se llama *penillanura*, que no es sino la raíz del sistema montañoso destruído. Hasta que llega el momento, en que (aceptando que la Tierra se enfría y se contrae), los esfuerzos de la concentración son suficientemente intensos para plegar las nuevas masas sedimentarias. Marginalmente a la cordillera arrasada surge del océano otra que, adosándose a aquélla, aumenta la extensión continental. El mismo pro-

ceso de destrucción y sedimentación marginal se prosigue, y así, repetidas veces durante la larguísima época arcaica. Así es como durante millones de años se formaron esas masas de viejísimas rocas replegadas, los *cratones*, como se denominan con nombre rimbombante, dichas acumulaciones de raíces de cordilleras adosadas unas a otras.

os Escudos.

Sobre estas zonas rígidas y firmes, permanentes, o sobre parte de ellas, se han depositado posteriormente sedimentos, que, protegidos por esta sólida base, han quedado indeformados o poco deformados. Son los *escudos* Canadiense, Groenlandés, Escandinavo—que llegaba hasta los Highlands de Escocia—, los de la Plataforma Siberiana, Brasileño; Africano, Indomalgacho, Chinomalayo, Australiano y, finalmente, el Antártico.

Los cratones que los sustentan de contornos imprecisos y variables a lo largo de los tiempos arcaicos y posteriores, invadidos parcial y cambiamente por mares costeros, replegados, semicristalinos ya, empapados por magmas, avejentados, han permanecido impasibles a todos los empujes posteriores; más aún, han servido de obstáculo, de frente resistente contra cuyo borde se han levantado nuevas cordilleras que han ido engrosando su masa, y estas masas de rocas, de origen marino, en áreas que una vez fueron mares, son desde los remotísimos tiempos arcaicos hasta la actualidad, y lo serán siempre, zonas resistentes, continentales, que han dado origen a la idea de la *permanencia de los continentes*, otro de los conceptos fijos en la exposición geológica.

l estado cratónico, achaque de vejez.

Hemos dicho más de una vez que estas rocas están empapadas con magmas. ¿Cuándo puede esto ser así?: los magmas, la recristalización, son los achaques de las formaciones de las rocas sedimentarias viejas. Es su arterio-

Geosinclinales.

esclerosis, su enfermedad de vejez. Los magmas están a temperaturas muy elevadas que originarían su fusión y su volatilización a las presiones ordinarias, y sólo el peso de las inmensas masas de rocas que sustentan lo sujetan en un estado semirígido, semiviscoso. Cuando se acumulan depósitos sedimentarios en grandes espesores, lo hacen en extensiones cuyo fondo, como una membrana elástica, va cediendo y se va hundiendo bajo su peso. Estas extensiones se denominan geosinclinales. Una gran cordillera sólo se forma cuando todo el proceso de la formación de montañas es muy completo; cuando el espesor que se acumula de sedimentos es muy potente; cuando éstas descienden muy hondo, llegando a zonas magmáticas de temperaturas muy elevadas, es decir, a zonas de metamorfismo; entonces las masas magmáticas rechazadas lateralmente por el peso de los sedimentos son considerables; estas masas magmáticas, a su vez, levantan, empujándolos, por debajo los bloques siálicos marginales de los sinclinales; la inestabilidad creada es grande y, por consiguiente, las tensiones originadas son también muy grandes, y como consecuencia son también los esfuerzos que se ponen en juego para restablecer la situación original. Acaba finalmente por romperse el equilibrio y los bloques marginales a ambos lados del sinclinal, empujados y levantados por su base, se lanzan los unos contra los otros, comprimiendo entre medio las masas sedimentarias. Los plegamientos son entonces intensísimos y las cordilleras se elevan gradualmente a gran altura, surgen sobre el nivel del mar, rechazándolo lateralmente y se alzan a alturas de millares de metros sobre él. Lo cierto es que siempre que el proceso se completa totalmente (porque a veces aborta y las presiones comienzan a actuar sin que el espesor de sedi-

mentos sea tan considerable, ni la profundidad alcanzada tan grande), siempre que se completa totalmente, decimos, los sedimentos más profundos, que, generalmente, se sitúan en la zona media, o sea, en el eje de la depresión, eje también de la futura cordillera, se metamorfizan y adquieren textura cristalina; incluso pueden llegar a granitizarse, o sea transformarse, por fusión, en granito. No tiene, pues, nada de extraño que los ejes de las grandes cordilleras estén constituídos por gneiss, micacitas, etc.; las rocas cristalinas de metamorfismo. Y cuanto más profunda es la erosión, en mayor proporción y área afloran estas rocas. No nos extrañe, pues, que los «cratones» constituídos por las raíces, desnudas al máximo, de viejísimas cordilleras, estén integradas principalmente por rocas metamórficas.

magmatismo  
orogénico o  
simultáneo  
en la orogé-  
sis, estruc-  
tura general  
de las cordille-  
ras con grani-  
tos axiales  
rodeados por  
jas meta-  
mórficas y és-  
as por bandas  
sedimentarias.

Por otra parte, mientras las presiones no actúan, los sedimentos gravitan sobre el fondo; pero en el momento que empiezan a ejercer presión los bloques siálicos marginales (presión lateral, no lo olvidemos), someten a compresión los sedimentos, los sujetan, los «aguantan», y la presión sobre el fondo, si no cesa del todo, al menos, disminuye; ante esta disminución de la presión, los magmas no sólo acuden allí, sino que adquieren mayor fluidez; aumenta su capacidad de asimilación de las rocas que tienen encima y aprovechan las cavidades y grietas para introducirse y empaparlas de flúidos y emanaciones magmáticas, en mayor o menor grado, según las circunstancias. Al elevarse la bóveda, los magmas, llamados por la depresión, acuden al eje, y quizás cogidos en el pliegue, ascienden con él. Al alejarse de la zona de altas temperaturas, se enfrían y cristalizan, y, según la rapidez de enfriamiento y las materias sedimentarias acumuladas, varía su naturaleza y textura física y química, dando lugar a la va-

riedad de rocas ígneas que se observan entre las metamórficas, en los ejes de las cordilleras. Cuanto más vieja es una cordillera más desnudas están sus raíces, y, por consiguiente, tanto menor es la parte de cobertura propiamente sedimentaria que queda, y tanto mayor el área que asoma, que *aflora* en términos geológicos, de aquella zona más profunda de sedimentos metamorfizados y de magmas cristalizados. La Cordillera Central, nuestra Carpetana, es más vieja que los Pirineos; por eso afloran en ella con mucha más extensión los granitos y las rocas metamórficas. Achaques de vejez. Y muchos millones de siglos más viejas que nuestra Cordillera Central son las que soldadas unas a otras, formaron los cratones. No nos extrañe, pues, que en ellos predominen las rocas ígneas y metamórficas.

Magmatismo post-orogénico, de tipo volcánico.

#### Volcanes.

Por otra parte, cuando cesan las presiones, todo, en las recién formadas cordilleras, se afloja; algunos elementos ceden y caen; se producen fracturas, líneas discontinuas de menor presión, y a ellas, de nuevo, acuden los magmas, que se funden, ascienden por ellas, y puede llegar a verter al exterior, como volcanes. Es también muy importante, o puede serlo, esta intervención magmática que se produce una vez terminada la surrección de la cordillera, contribuyendo a hacerlas más rígidas.

Los cratones o macizos arcaicos muestran en gran profusión este fenómeno póstumo y se encuentran cruzados en todos sentidos de venas y filones magmáticos de muy diversos tipos, que contribuyen no poco a su permanencia, su estabilidad como masas continentales.

Un acontecimiento geológico trascendental: el origen de la Vida.

Antes de dar por terminado este vistazo a la época arcaica, en el estudio de cuyas características quizás nos hemos fijado demasiado (aunque ello nos haya servido para

exponer algunos fenómenos geológicos de tipo general), es preciso dar a conocer un acontecimiento que tuvo lugar en algún momento verdaderamente grandioso y desconocido de aquella época: la aparición de la Vida. Hemos hablado de un mundo triste y solitario, desnudas las tierras, vacíos los mares; de una soledad absoluta, incomparable. Pero, en algún momento de aquella larguísima serie de millones de años, en algún punto del Globo, probablemente en las aguas de algún océano cercanas a la costa, o en alguna laguna medio desecada, comenzó a palpar algo: un germen de vida, una célula especial comenzó a crecer, y fué capaz, por sí sola, de reproducirse. Misterio completo rodea tan trascendental acontecimiento. ¿Fué un acto especial de la voluntad del Supremo Creador? ¿O era parte de su esquema del mundo? ¿Estaba ya sabiamente previsto en el Esquema del Universo? ¿Entraba dentro de sus leyes físicas y químicas que una conjunción especial de circunstancias originase la Vida? En todo caso, es la huella de lo sobrehumano, el más sublime atributo de la Divinidad, éste de la creación de la Vida.

No vamos a hablar de la influencia trascendental de tal acontecimiento desde un punto de vista general o personal, ya que gracias a él está usted, lector, leyendo estas líneas y gracias a él puedo yo escribirlas. Pero en Geología su valor es inigualable, ya que puso en las manos del geólogo una de sus más útiles herramientas, el fósil, el resto petrificado de seres que una vez vivieron y proliferaron sobre la Tierra.

#### El ser vivo.

Hay seres sumamente sencillos, constituídos por una sola célula, o, a lo más, por una agrupación de células idénticas; de no perseguir su conocimiento pasan inadvertidos, puesto que con frecuencia sólo son visibles con el

microscopio, o en todo caso son de tamaño diminuto, y por añadidura, viven en el agua. Hay otros, en cambio, extraordinariamente complicados, integrados por millones y millones de células, agrupadas según sus especialidades para ejercer funciones peculiares: digestivas, musculares, sensitivas, etc., en un maravilloso mecanismo de complicación, precisión y combinación de funciones. La Vida, don divino, es la que anima, rige y ordena, ese conjunto. Los mamíferos pueden ofrecerse como ejemplos de esta máxima complicación. Existen muchos grados de complicación intermedia, desde los seres desprovistos de cavidad digestiva general y carentes de sistemas muscular y nervioso, muy rudimentarios, como son las esponjas, hasta los que están dotados de un organismo complejo y delicadísimo y hasta de un alma racional. Sea mucha o poca su complicación, son características fundamentales de todos los seres vivos sus tres capacidades específicas: movimiento, asimilación y reproducción.

Se discute si todos estos seres derivan de un origen común, o bien si hubo una creación distinta para los diferentes grandes grupos o ramas en que se agrupan los seres vivos por sus analogías de constitución y funcionamiento, que es consecuencia de su parentesco. En todo caso, lo que sí está fuera de duda es que, a partir de uno o varios prototipos, creados en uno o varios actos individuales de la voluntad Divina, se desencadena el maravilloso esquema de la evolución. Este esquema está previsto por el Creador, de modo tal, que en un momento determinado, uno de los vástagos puede presentar características distintas a las del tipo que le dió la vida; algo que lo diferencia levemente, sin perder, claro está, el aire de familia, y es una característica fija que transmite inevitablemente a sus descendientes; es

la que define el «tipo» biológico, la «especie». Por este mecanismo peculiar es como, a partir quizás de una sola célula viva inicial, se ha podido crear toda la inmensa variedad de seres que han vivido, viven y vivirán. Es admitido, y muchos lo piensan así, argumentándolo con vividez, que la serie de seres vivos tuvo su origen u orígenes en el tipo más sencillo, la primera célula viviente. Las células se reproducen por división, y todos los seres vivos de la primera época de la vida se reproducirían por división, como ocurre hoy día en muchos grupos de seres vivientes. Pero llegaría momento en que, por aquel principio previsto en el esquema del Creador, apareció una célula de distintas características, capaz de conjugarse por un mecanismo de atracción especial con las antes existentes, y entonces quedó creada, paralelamente a la reproducción por división, la reproducción sexuada, dando inmensa variedad y oportunidades al proceso de la creación de especies.

Así, pues, de uno o varios troncos originales, encabezados por seres sencillos que se han ido ramificando extraordinariamente, ha resultado el Arbol de la Vida; un árbol genealógico donde muchas conexiones están confusas, pero otras son evidentes y clarísimas.

Permanencia  
fugacidad de  
los tipos.

Algunas de las especies creadas son de larguísima vida, que se cuenta por millones de años. Algunos de los tipos, originados inmediatamente después de terminar el período arcaico, no han experimentado variación alguna hasta nuestros días, aunque han originado otras especies distintas, hasta crear una variadísima familia. Otras, en cambio, son de cortísima vida, pueden durar unas cuantas decenas de miles de años (nada, para los tiempos geológicos), para desaparecer radicalmente, no sin extenderse primero por regiones más o menos extensas, e incluso por todo el Globo.

Partes durables y partes perecederas de los seres vivos.

La mayor parte de los seres vivos, e incluso algunos de los más sencillos, están armados, o protegidos, por sustancias minerales duras. Unas veces son esqueletos de sílice, como en algunas esponjas; otras de fosfato de cal, como en los seres humanos; otras son conchas protectoras, como en las ostras o en los caracoles, pero son relativamente pocos los tipos de seres vivos que no están de una u otra manera constituidos de modo que sus partes blandas y perecederas están armadas o protegidas por armazones o por cubiertas de sustancia mineral mucho más perdurable.

Los fósiles, restos petrificados de seres que vivieron.

Cuando mueren, sus partes blandas se descomponen y desaparecen; en cambio, sus conchas o esqueletos, gracias a su constitución mineral, resisten; son enterradas, entre los sedimentos, quedan entre los estratos sedimentarios y, al mismo tiempo que ellos, se petrifican, rellenándose y cargándose de sustancia mineral. Adquieren así, si es que ya no la tenían, la misma consistencia y solidez que la roca, en cuyo seno, y simultáneamente, han ido adquiriendo las características pétreas.

Ya hemos señalado que la Humanidad se ha movido durante centenares de siglos entre capas y estratos, que gritaban su geología, sin reparar en ellos. El excursionista, el labrador, tú y yo, lector, hemos andado con frecuencia por campos y montes sembrados de fósiles sin siquiera notar su existencia. Sólo cuando es tan señalada por su abundancia y curiosas formas que es casi imposible ignorarlos, el vulgo repara en ellos y los bautiza con populares nombres, como las «orejas de moro», ostras petrificadas de tiempos antiguos, o los «dinericos del diablo», unos seres muy sencillos, constituidos por un solo tipo de célula, pero de dimensiones a veces muy considerables y provistos de un complicado y vistoso caparazón que el geólogo denomina

*nummulites*, expresando con término más clásico su semejanza a una moneda.

Las rocas sedimentarias pueden contener fósiles, las ígneas no.

Pero el geólogo, que observa y analiza con detalle la estructura de las rocas de la corteza, sabe que las rocas sedimentarias están, con frecuencia, cuajadas de restos fósiles, y que, aunque muchas veces los busca en vano, sabe siempre que «pueden» contenerlos. Puesto que la vida se desarrolla en la tierra, en el aire y en el agua, es inútil que se busquen sus restos en las rocas de origen ígneo. No pueden contenerlos los granitos, ni los basaltos, ni la gran serie de rocas que tienen su origen en el fuego; tampoco aquellas rocas sedimentarias que transformadas por el fuego, han transmutado de tal manera su naturaleza, que es difícilísimo que los restos fósiles que contenía hayan podido resistir tan profunda transformación; no espera, pues, el geólogo tampoco encontrar restos fósiles en las rocas metamórficas.

Porque las rocas sedimentarias pueden contener fósiles.

Pero en la tierra, y en los mares, viven infinidad de seres, y todos ellos han de morir, y sus esqueletos, si no se destruyen prematuramente, y si son incluidos en la masa de sedimentos, tienen gran número de probabilidades de petrificarse con ellos y perdurar por los siglos de los siglos. El aire es un gran elemento destructor de los esqueletos, favorece las combinaciones químicas que los descomponen, pero, además, los restos de los seres que viven en la superficie de las tierras firmes están sujetos a muchas contingencias desagradables; lo más fácil es que queden sepultados y se destruyan; pueden ser pisoteados y triturados si son frágiles conchas de caracoles, y, aunque sean esqueletos, pueden ser machacados y rotos por las piedras, al ser arrastrados por las lluvias torrenciales. En cambio, los esqueletos o conchas de los seres que viven en el mar, al

morir caen al fondo, quedan sobre sedimentos y son enterrados y cubiertos por los que continuamente posan sobre los fondos marinos. Están, pues, en óptimas condiciones para resistir y petrificarse, al mismo tiempo que los sedimentos.

Por esta razón son muchísimos más abundantes los restos fósiles de seres que viven en el agua, y aún más los marinos que los de agua dulce, que los que viven sobre tierra firme, y como consecuencia mucho más útiles.

En la evolución radica la utilidad de los fósiles.

¿Y por qué son más útiles? O más bien, ¿por qué en último caso son útiles? Precisamente por el hecho fundamental de la evolución. Porque cada tipo nace, se multiplica y desaparece. Porque no hay nunca repetición de tipos ya extintos.

Cada especie ha vivido en una época determinada, más larga o más corta, raras veces larguísima, con frecuencia muy corta (geológicamente hablando), y sirve para caracterizar los sedimentos de la época en que ha vivido.

Los sellos de correos fueron inventados en Inglaterra el año 1840. Su uso se extendió rápidamente a todos los países del mundo. En cada país se han hecho infinidad de series, o tipos distintos, que se han ido renovando y cambiando. Algunas han durado durante todo un reinado o durante la efímera vida republicana de un país. Otros han conmemorado un centenario y han circulado durante breves días. Existe gran afán por coleccionarlos. Son bonitos, vistosos, de animados coloridos, y con frecuencia, los dibujan magníficos artistas que consiguen verdaderas obras de arte, porque las administraciones de rentas públicas obtienen de su venta pingües ingresos. Existen catálogos en que se encuentran reproducidas sus características, sus fechas de emisión y el país que los vendió. Con estos catá-

logos podemos saber que un sello determinado fué vendido, digamos, en Suecia del año 1870 al 1873. Caracteriza esa época.

Los catálogos de fósiles facilitan su uso práctico.

De la misma manera existen catálogos, no esencialmente distintos, de todos los fósiles que se conocen hasta ahora. Están agrupados por su parentesco en ramas, grupos, órdenes, clases, géneros, familias y especies. Dibujos o fotografías permiten reconocerlos e identificarlos, además de minuciosas descripciones. Pues bien, cada tipo de fósil, cada especie, apareció en un momento determinado y se extinguió en otro momento determinado de la vida del Globo, salvo aquellos casos relativamente raros de fósiles tan venerables que se han mantenido invariables hace millones de años.

Por los fósiles se conocen las edades de las rocas que los contienen y se identifican las coetáneas.

El geólogo, con un fósil en la mano, procedente de una roca o estrato, busca en estos catálogos, lo identifica, y allí encuentra especificados el período en que vivió, la época de la historia de la Tierra en que se desarrolló, y a la que caracteriza. Esta es la inmensa utilidad de los fósiles.

Esa tarea sería ímproba, casi irrealizable, sin conocimiento de una de las ciencias auxiliares de la Geología: la Paleontología, la ciencia que se ocupa de los fósiles, la que estudia el desarrollo y características de la evolución de los seres vivos, su historia. Es la Zoología y la Biología de los seres extintos.

Fósiles característicos.

Los fósiles más interesantes y útiles, los más característicos, los conoce el geólogo de memoria, los identifica a la primera mirada, y ello le permite conocer desde el primer momento la edad de las rocas que lo contienen. Le sería imposible, sin embargo, retener de memoria las características, no digamos de todos, sino ni siquiera de la inmensa mayoría. Ni los paleontólogos más sabios y experi-

mentados las conocen. Pero, en cambio, conocen el sistema de clasificación, saben aproximadamente a qué grupo pertenece, y por su aspecto, reconocen con frecuencia directamente más o menos en qué época vivió; ello le permite utilizar racionalmente el catálogo, encontrar con rapidez la sección en que ha de estar descrito. Sin estos conocimientos sería tarea ímproba identificar un fósil.

Los fósiles permiten averiguar las edades relativas de las rocas cualesquiera que sean los trastornos que éstas hayan experimentado.

Se comprende, pues, cual es la enorme utilidad de los fósiles en Geología, y se comprenderá aún mejor si pensamos que en una acumulación de estratos que no ha sido trastornada, los más profundos son los más antiguos, y todos están ordenados de abajo a arriba por orden de antigüedad decreciente. Por consiguiente, su edad relativa puede ser establecida, aunque no la absoluta, sin ayuda de fósiles. Pero en las tierras firmes, las cordilleras o restos de cordilleras son muy abundantes, y su estudio es importantísimo, no sólo por el área del Globo que ocupan, sino porque en ellas se encuentran concentradas muchas riquezas minerales. Ahora bien, en las cordilleras, los estratos se encuentran increíblemente revueltos, rotos, volcados, superpuestos varias veces en las formas más caprichosas, y el orden original se encuentra absolutamente trastornado. Es gracias, sobre todo, a los fósiles, como se puede llegar a saber la edad de los estratos, cualquiera que sea su posición y los trastornos que ha experimentado; por su ayuda se identifican las repeticiones, se reconstruyen los pliegues, se localizan las roturas y, en una palabra, se puede reconstituir las fases de gestación de la cordillera.

Los fósiles suministran además valiosas indicaciones sobre circunstancias diversas de la época en que en que vivieron.

Y no es esta la sola utilidad de los fósiles. Cada especie requiere sus condiciones de vida. Unas, viven en aguas profundas; otras, en zonas costeras; algunas, en fondos arenosos; otras, son muy exigentes en cuanto a limpieza de

las aguas, o a su temperatura. Por la clase de fósiles que contienen se puede así averiguar las condiciones de formación de las rocas, cerca o lejos de la costa, las temperaturas que reinaban; gran copia de otros datos útiles para la reconstrucción de la Historia de la Tierra, objeto principal de la Geología como ciencia.

Aún hay más. La utilidad de fósiles sería, con todo, limitada, si no actuase todavía otra característica. Para hacerla más palpable vamos a establecer una comparación. Veamos lo que ocurre con la moda. La moda es, en cierta medida, universal. En la época de Roma, se usaban las togas y las clámides; nacieron allí, y con sus legiones se extendió su uso al mundo conocido entonces: el Imperio Romano. Más tarde, en la Edad Media, se usaron las faldas ampulosas, los talles ceñidos y unas extravagantes tocas para la cabeza de las damas, que a pesar de su aparente incomodidad, usaban las beldades en los feudales castillos de España y de Bohemia, de los Cárpatos y de Dinamarca. Luego, el sombrero de tres picos, la casaca, corbata y puños de encaje, fueron adorno de los presumidos caballeros que ceñida la espada andaban a cintarazos en las oscuras esquinas de los callejones mal alumbrados por malolientes candiles de aceite de las viejas ciudades de Europa y América. A pesar de sus variantes, de sus modalidades locales, un especialista, digamos un dibujante de trajes de una ópera estatal, reconocería la época exacta de un modelo que en su tiempo trastornó la cabeza de cualquier damita. Ahora mismo, a un mandato de París, la falda larga substituye a la corta con velocidad radiotelefónica en todos los países del mundo. La moda nace en algún sitio, se extiende por todo el mundo, evoluciona, y, gradual o repentinamente, cambia dando paso a otras, cada

cual característica de su época, aunque coexistan trajes regionales y modas o modalidades locales.

Algo parecido ocurre con las especies. Una especie nueva se origina en algún punto del Globo. Se extiende en zonas extensas, quizás a todo él (el mar es un portentoso vehículo portador de la vida) evoluciona, crea lateralmente variedades locales, y es sustituida por otra. Podrá llegar con más o menos retraso la moda, durar más o menos tiempo, y podrán simultáneamente coexistir modas y variedades locales en gente peor informada, más burda, pero no cabe duda del dominio universal de esa singular tiranía de la moda.

Coetaneidad universal de muchas especies fósiles.

Este carácter universal de la distribución de muchas de las especies, con las mismas características de lo que ocurre con la moda, es una de las principales ventajas de los fósiles. No sólo ha hecho posible el establecimiento de la serie y sucesiones locales, sino que ha permitido establecer su correlación y coetaneidad relativa en todo el Globo. Por esto es posible que podamos quizás utilizar una descripción de fósiles encontrados en Egipto, o en Java, en el Japón o en los Estados Unidos, para clasificar los que recogemos en el Pirineo. Por el hecho de que en una determinada época se «llevaron» los *nummulites* se sabe que las rocas que los contienen son de edad parecida en cualquier parte de la Tierra que se encuentren. Podrá haber ligero retraso, pero esto ya es afinar mucho, más de lo que en general permite la escala de la ciencia, y se admite que aquellas rocas son coetáneas. Y si en una época muy breve, digamos unas pocas de decenas de millares de años, una determinada especie con determinados adornos en su concha se extendió por todo el mundo, los pocos restos de sedimentos que la contienen, los pocos metros de espe-

sor de rocas a que aquellos dieron lugar, permiten establecer la idéntica edad de formación en cualquier parte que se encuentre, lo mismo que sea en las cumbres del Himalaya, que en las llanuras del Arkansas, que en el fondo del Mediterráneo.

Estos fósiles de distribución universal, son los más útiles en Geología, y, tanto más útiles, cuanto más breve su duración de vida en la Tierra; afinan más, caracterizan más. Hay fósiles que sólo se puede esperar encontrarlos en unos pocos metros determinados del espesor de sedimentos porque fueron de muy corta vida. Otros pueden extenderse verticalmente, cientos de metros, otros no sirven geológicamente hablando, porque se encuentran idénticos en las formaciones más antiguas y en las modernas.

Retorno a los tiempos arcaicos. Primeras manifestaciones de vida.

Pero es hora de que volvamos de nuevo a nuestros tiempos arcaicos, cuando, transcurrida ya larguísima época de la historia de nuestra Tierra, aparece en ella, en un momento desconocido, la Vida. Estas primeras manifestaciones de vida son pobres y raquíticas; se acepta que tuvieron su origen en el agua, y que durante larguísimas épocas la evolución se desarrolló exclusivamente dentro de ella. Eran los primeros, seres vegetales de poca sustancia y consistencia, algas, y los primeros animales seres sencillos de mínima complicación estructural, pero lo más señalado en ambos casos es su incapacidad para fosilizar. Existe una discontinuidad misteriosa y enigmática en la historia de la Vida y de la Geología, extraordinariamente marcada. Cuando termina el Período Arcaico, empieza una era la Primaria o Paleozoica, iniciada por la época que se ha denominado Cambriana. Muchas características separan y distinguen casi radicalmente a las formaciones arcaicas y las cambrianas, pero casi la más señalada es la que existe entre

Discontinuidad arcaico-paleozoica.



las manifestaciones de vida de una y otra época. Mientras que las formaciones arcaicas son casi estériles, carecen casi totalmente de todas las señales de vida, salvo las suficientes para garantizar el reconocimiento de su existencia, el Cambriano se inicia ya con portentosa manifestación, eclosión de la Vida. Con frecuencia las rocas cambrianas están cuajadas de fósiles; muchas ramas del árbol biológico están ya representadas; y abundantemente representadas, además. No es esto sólo. Los seres presentan un grado tal de complicación y perfección orgánica que no puede ser más que resultado de larga evolución, iniciada tiempo atrás en los tiempos arcaicos. Y, sin embargo, en las rocas de aquella edad rarísimamente se encuentran restos fósiles, y el geólogo no puede, en absoluto, contar con ellos para utilizarlos como herramienta. Son verdaderas rarezas; reunidos todos los ejemplares que se conocen, apenas llenarían media docena de vitrinas de un museo. Por eso es tan difícil y tan ingrata la tarea de los geólogos que se dedican al estudio de esas formaciones arcaicas; carecen de la valiosísima ayuda de la Paleontología y para guiarse en el laberinto de las trastornadas y replegadas formaciones metamórficas no pueden apoyarse más que en minuciosos y detalladísimos estudios de las rocas, que han de sintetizar recogiendo y estudiando millares y millares de muestras. Han de analizar con extrema atención los contactos entre las distintas clases de rocas, procurando deducir de ellos las incidencias que experimentaron, su edad relativa, los plegamientos a que fueron sometidas y la dirección de los empujes. Es una ingente tarea donde primero se ha de desmenuzar detalladamente la naturaleza de cada palmo de terreno, para elevarse luego en unas síntesis, casi grandiosas por su escala.

Faltan, pues, muchos eslabones en la cadena de la evo-

En el Arcaico es rarísimo encontrar fósiles. Dificultad de la técnica geológica en estas formaciones.

lución, sobre todo, en el primer trozo. Nos falta la argolla inicial, y de aquél sólo quedan partículas de metal adheridas a la roca. El extremo suelto lo tenemos en el Cambriano, y desde allí hasta nuestros días podemos seguirla sin dificultad, aunque algunos eslabones estén medio enterrados entre la arena.

Se ha tratado de explicar esta discontinuidad de muchas maneras. Una razón, la más corriente, consiste en explicar cómo por el metamorfismo que presentan con gran frecuencia, y en mayor o menor grado, las rocas arcaicas, los restos de los organismos han sido destruidos. No es demasiado convincente, aunque la razón es absolutamente cierta y sabida; pero hay muchas rocas arcaicas cuyo grado de metamorfismo no justificaría la total desaparición de los restos fósiles. Quizá es más verosímil un argumento de orden biológico. Según este orden de cosas las primeras etapas de la evolución están caracterizadas por seres que no habían aprendido aún a asimilar la cal para fabricar sus conchas o esqueletos. Eran o bien organismos fofos y desnudos, o revestidos de caparazones o esqueletos córneos o quitinosos, de mucho peores condiciones de fosilización. Este argumento hace más mella, porque, en efecto, en el Cambriano se observa gran abundancia de conchas de naturaleza quitinosa, y su cantidad y variedad disminuye en adelante.

Ahora bien, en ambos argumentos hay algo de verdad, y ninguno de los dos llega a salvar totalmente el foso de las interrogantes y de las objeciones.

Lo cierto es que al terminar el Arcaico, hace 580 millones de años, hay una gran discontinuidad. Las últimas cordilleras arcaicas, que surgidas del seno de los mares, se han soldado marginalmente a los escudos, las origina-

ERA	Duración en millones de años	SISTEMA	Edad en millones de años	P I S O	FASES DE PLEGAMIENTO (Sólo las más importantes)	Epoocas de plegamiento
Primario o Paleozoico ..	30	Permiano . . . . .	230	Zechstein. Sajoniense-Rotliegendes. Autuniense.	Palatinicos.	Extinción Herciniana
			30		Saállicos.	
	60	Carbonífero . . . . .	260	Estefanense-Uralense. Westfaliense. Caliza de Montaña. Dinantense-Culm.	Astúricos.	Hercinianos o Variscos
			60		Sudéticos.	
			320		Bretónicos.	
	60	Devoniano . . . . .	320	Famenense. Frasnense. Givetense. Eifelense. Coblencense. Gedinense.	Ericos.	Caledonianos
			380			
100	Siluriano . . . . .	Ordovícense Gartlandés	Ludlowense. Wenlockense. Llandoveryense.	Tacónicos.	Caledonianos	
						100
100	Cambriano . . . . .	480	Potsdamense. Acadiense. Georgiense.			
			580			

das por los plegamientos que se conocen con el nombre de Huronianos son arrasadas, y sus restos se van depositando durante largas épocas del llamado Intervalo Lippaliano, o Discontinuidad Proterozoica, que nos separa el período Arcaico del Primario.

La Era Primaria. Conventionalidad de las divisiones geológicas.

Es la Era Primaria, como todas las divisiones grandes y pequeñas de los tiempos geológicos, una convención humana. De la misma manera que si bien la Historia Moderna empezó con el descubrimiento de América, ningún ser en 1492 notó ningún cambio en la luz del sol, ni en su funcionamiento fisiológico, y de la misma manera que, a pesar de que la Revolución Francesa es un jalón que divide la Historia, y, sin embargo, salvo los hombres que dejaron su cabeza en la guillotina, encontraron los demás que todo en la Naturaleza seguía su curso obligado, de la misma manera no hubo una discontinuidad entre el Arcaico y el Cambriano. No se paró el sol, no dejó de correr lentamente la arena en el reloj de Cronos, y, sin embargo, es un momento apropiado para referir a él una división de la Historia Geológica del Globo.

La Era Arcaica se calcula que terminó hace 580 años. El período, de tan larga duración, que se extiende desde entonces hasta nuestros días, se ha dividido convencional, pero no artificiosamente, en períodos generales: el Primario, Secundario, Terciario y el Cuaternario.

Como ya dijimos, cada una de estas épocas tiene su sello, su característica especial. Pero para referir los acontecimientos geológicos, esta división tan amplia no basta. No podemos emplear los kilómetros para medir las piezas de tela, y cada medida requiere su escala apropiada. Decir que la caliza de la cantera que tenemos en explotación es de la Era Secundaria, es precisar bien poco.

Para poder afinar más se ha ido subdividiendo cada era en épocas, en períodos, en tramos, en pisos, de la misma manera que el metro se divide en decímetros, centímetros y milímetros, con objeto de poder afinar más en la apreciación.

Jalones geológicos, y desigualdad de la importancia de los períodos y divisiones.

Pero hay que tener en cuenta una característica muy señalada; estos períodos de tiempo no son de igual duración; su división, convencional, pero no arbitraria, como ya hemos dicho, se apoya, en cambio, en las circunstancias geológicas: en la ocurrencia de un plegamiento, en una retirada general de los mares, en un cambio en el carácter de sedimentación, en la aparición de determinada clase de seres vivos; acontecimientos todos ellos que, con más o menos importancia, con más o menos universalidad, con mayor o menor trascendencia, dejan marcado su sello en la faz de la Tierra, su huella indeleble en las rocas, y de los que se ha seleccionado, para subdividir su historia, los más importantes.

Estas divisiones son tanto más largas cuanto más antiguas. Así se calcula una duración de 350 millones de años para el Primario, de 170 para el Secundario, de casi 60 para el Terciario, de 0,6 para el Cuaternario. El Arcaico, representa un período de tiempo mucho mayor que el de todas las demás épocas juntas.

Insistamos, una vez más, en que estas divisiones son convencionales. La diferencia de duración no corresponde a una alteración en el ritmo de los acontecimientos geológicos, muy variable, por cierto; no corresponde a una aceleración de un mecanismo, sino, sencillamente, a un conocimiento más detallado y profundo. La época terciaria es mucho mejor conocida, por más reciente, que la secundaria, y ésta, más que la primaria. No es precario esforzarse

en explicarlo porqué cae de su peso. Para la comodidad de la exposición, como consecuencia misma de su mayor detalle, las divisiones de la época terciaria son mucho más pequeñas, más cortas que las de las épocas anteriores.

Se ha llamado Era Primaria a aquel período de la historia de la Tierra, que se inicia con la destrucción de las últimas cordilleras arcaicas y su sedimentación en los mares cambrianos, y que terminan con la surrección de una gran cordillera, y el comienzo de su destrucción, origen de un largo período de sedimentación. Esta Epoca Primaria se ha dividido en cinco períodos, a los que se ha denominado Cambriano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero y Permiano, y ha sido testigo de la surrección de dos grandes sistemas de cordilleras, las caledonianas, cuyo más fuerte empuje tuvo lugar entre el Siluriano y el Devoniano y las hercinianas o variscas, cuyo levantamiento principal se verificó durante el Carbonífero.

Digamos de paso cuál es el origen de todos estos nombres tan extravagantes que emplea el geólogo para denominar sus divisiones del tiempo. La mayor parte de ellos derivan sus nombres de localidades geográficas, por los sitios donde primero fueron estudiadas y donde más caracterizadas aparecen sus formaciones, por ejemplo, Lauréntico, de la comarca del río San Lorenzo, en el Canadá; Devoniano, del condado de Devon, en Inglaterra; Jurásico, de la cadena del Jura, en Suiza. Otros nombres derivan de características marcadas de las formaciones, por ejemplo, Arcaico, por ser las más viejas; Carbonífero, por ser ricas en carbón; Cretáceo, por abundar en ellas la greda, o creta, al menos en el país en que se inventó el nombre; Triásico, por dividirse en tres pisos muy bien caracterizados. Hubo una época en los primeros tiempos

de la Geología en que cuando se hubo dado nombre a las divisiones más generales e importantes, estuvo de moda derivar los nombres restantes de las de tribus antiguas o autóctonas del país en que se estudiaron, así, por ejemplo, Siluriano, deriva su nombre de los *silures*, habitantes primitivos de determinada zona del país de Gales en Gran Bretaña. Eoceno quiere decir, derivado del griego, aurora de los tiempos recientes, pero también se lo denomina Numulítico, por abundar en sus rocas los fósiles denominados *nummulites*.

Satisfecha la natural curiosidad de saber cómo saca de la manga el geólogo estos nombres estrafalarios, volvamos a los tiempos Primarios, o Paleozoicos, como también se denominan, o sea la época de los seres antiguos, de los más antiguos conocidos entre los seres de la escala animal.

Al comenzar el Paleozoico, o sea, en los principios del Cambriano, el mapa mundi que los geólogos han compuesto de la repartición de mares y tierras en aquella época presenta unos contornos desconcertantes, que no nos recuerdan para nada los continentes actuales y que, además, son muy imprecisos. Mientras que parte de los perímetros de los cratones, o tierras firmes de entonces, presentan por algunos lados, y quizás un poco aventuradamente, trazo continuo y seguro, por otros unas líneas punteadas indican gran incertidumbre con respecto a su extensión y a la situación de las costas; hay incluso extensos continentes, de existencia muy dudosa, marcados con una interrogante. Otro detalle es que los contornos parecen dibujados como con plantilla. ¿Es que sus bordes eran tan lisos y continuos? ¿No existían los entrantes y salientes, cabos, golfos y bahías, que dan variedad y personalidad a las costas actuales? Sería demasiado pedir, y, el geólogo, con su mejor voluntad, no puede suministrar

Tras varios incisos volvemos a la Era Primaria.

más detalle, aunque es bien cierto, que los había entonces como los hay ahora, y aún lo que nos ofrece es el resultado de muy largos años de complicadas investigaciones y síntesis realizadas por generaciones de especialistas. Existían los Escudos Canadiense, Groenlandés, el Escandinavo y la Plataforma Siberiana; los cratones donde descansan los Escudos Brasileño, Africano, Malgachomalayo, Australiano y Antártico, además de otros más problemáticos. En parte eran verdaderos continentes emergidos, en parte estaban cubiertos por mares someros, y esto se sabe porque los sedimentos que se depositaron en estos zócalos marginales eran de poco espesor, y además, posteriormente, fueron débilmente plegados, porque se apoyaban en rígidos macizos que los protegieron. Allí se sedimentaron formaciones cambrianas y silurianas constituidas por sedimentos costeros, de mar poco profundo, y caracterizados por abundantes restos fósiles de seres marinos que solamente pueden vivir en aguas poco profundas.

Otros mares cambrianos eran hondos; se sabe igualmente por la naturaleza de los sedimentos, así como por los seres que en ellos han quedado petrificados. Allí se depositaron gruesos espesores de sedimentos arcillosos, muy finos, que dieron lugar al petrificarse a margas arcillosas muy limpias. Más tarde, al surgir de los fondos de los mares, adquirieron, merced a las presiones, textura pizarreña. La vida en esta época ya era compleja, y muy variados los tipos que la componían. Las tierras estaban aún desprovistas de ella. Entre otros muchos seres existían unos curiosos crustáceos, denominados *trilobites*, cuya longitud media era de unos cinco centímetros, algunos eran más grandes o mucho más pequeños. Había otras conchas, compuestas de dos valvas, unas de naturaleza córnea, otras

El Cambriano en el mundo.

La vida en el Cambriano.

calizas, llamadas braquiópodos, de variadísimas formas y tipos, y es curioso que algunas especies de esta clase de seres han seguido inalteradas hasta nuestros días.

No hay grandes plegamientos, ni surgen ingentes cordilleras, pero en algunos sitios los sedimentos se pliegan débilmente, y las huellas de estos débiles plegamientos se pueden localizar en diversos puntos del Globo. Ocurrieron en todos ellos casi simultáneamente; es decir, con diferencias que a la escala de los tiempos geológicos son despreciables.

Una de estas fases de plegamientos se ha empleado como referencia de tiempo y, a partir de ella, se considera que empieza la época siluriana; la aparición simultánea de especies fósiles nuevas permite extender esta referencia a todo el mundo, pues esos débiles plegamientos no tuvieron extensión universal, y en muchos países se pasaría insensiblemente del Cambriano al Siluriano de no existir esos fósiles; España es uno de ellos.

Unos extraños corales, los *Archeocyathus*, de extensión universal, ayudan a identificar y poner en orden las formaciones cambrianas del mundo entero, pero otros muchos fósiles ayudan útilmente en esta tarea.

El Siluriano

Dado que no hubo grandes plegamientos, no surgieron grandes masas de sedimentos del fondo de los mares, y la situación y extensión de las masas continentales no varía mucho. No obstante, sus contornos variaron notablemente, y en general ganaron espacio las tierras a los mares, pero en conjunto son reconocibles los mismos escudos. El cambio más notable es la soldadura del Escudo Canadiense con el Groenlandés, por alzamiento del fondo del estrecho y somero mar que los separaba de donde salen a la superficie sedimentos cambrianos poco plegados. Los cambios mayores se aprecian en el hemisferio meridional

donde el Escudo Africano se ensancha notablemente, soldándose al Indo-malgacho y al Australiano en una gran masa continental que los geólogos conocen con el nombre de Gondwana.

Pero los más profundos mares cambrianos, allí donde los sedimentos se acumulan con mayor espesor, siguen siendo dominio de las aguas.

La vida en el Siluriano.

Los sedimentos continúan engrosando estos depósitos durante la época siluriana. Nuevas especies nos permiten diferenciar estos sedimentos. Se desarrollaron los *trilobites*, dando lugar a gran variedad de tipos de corta vida; florecen los braquiópodos y los corales. Una importantísima rama de los seres vivientes, la de los vertebrados, aparece entonces con unos extraños peces monstruosos de grandes y duras escamas o placas, dispuestas como las corazas de las armaduras medievales. Pululaban en estos mares medusas, blandas y fofas como las actuales, y por consiguiente incapaces de fosilizar, pero de las que se desprendían finos filamentos dentellados, armados por sustancia córnea; caían éstos como lluvia desprendidos de las medusas en los finos lodos del fondo, y fosilizados entre ellos, han quedado impresos en las oscuras y satinadas pizarras silurianas como finos trazos, muy variados y característicos, según las especies. Parecen como dibujados con lapicero y por eso se les denomina con el nombre de *graptolites*. Su distribución fué universal, y, por ser las especies de muy corta vida, son muy útiles y características y han permitido dividir el Siluriano con gran precisión, en gran cantidad de tramos.

Los plegamientos alcedonianos.

Ya a mediados del Siluriano, la corteza empieza a mostrarse inquieta y en muchos sitios se producen plegamientos, y plegamientos intensos, que hacen surgir masas de

sedimentos silurianos y cambrianos del fondo de los mares. Componen la primera fase de una gran serie de plegamientos llamados Caledonianos, que, tras largo período de calma, se reproducen con la máxima intensidad al final del Siluriano, completando la serie de Cordilleras Caledonianas. Aún más tarde, estos plegamientos tienen reflejos póstumos, más locales en otras regiones. Pero este gran fenómeno de plegamiento se ha empleado como referencia de primer orden. Se considera terminada entonces la época siluriana, y comenzada la devoniana.

Algo hay que decir de las rocas surgidas de estos mares. Las cambrianas y silurianas tienen bastante parecido, en general, y son los fósiles con frecuencia los únicos caracteres que permiten distinguirlas.

Aunque existen las calizas y las areniscas, son más abundantes las pizarras, resultantes de la petrificación de finos lodos, y sus colores son oscuros, sus superficies satinadas.

Las cordilleras caledonianas se crearon en los surcos marinos contiguos a los escudos, pero sólo en el hemisferio Norte. El meridional no fué testigo de estos plegamientos. Se adosaron marginalmente a los bordes de aquellos escudos, engrosándolos, sobre todo en dirección al Sur. Cruzaban estas cordilleras de la costa oriental de América del Norte por Escocia y Escandinava; atravesaban la Rusia Nórdica y Siberia, y enlazaban, en arco, con las costas de Alaska para continuar por la costa occidental de América en dirección al Sur. La zona meridional del hemisferio Norte se vió libre, en general, de estos movimientos.

Como consecuencia del alzamiento de estas grandes masas de roca, se altera a finales del Siluriano notablemente la configuración y extensión de los cratones. Los

mares, rechazados de extensas áreas por la elevación de las montañas, se extienden por otras, cubriendo someramente con sus aguas las partes más bajas de los continentes.

Digamos de paso que las rocas silurianas de algunas regiones llevan impresa la marca indeleble de la acción de los hielos; prueba de que existían zonas glaciales, cuya situación indica una posición de los polos distinta de la actual.

Se renueva y juvenece el ciclo de erosión-sedimentación.

La creación de las cordilleras caledonianas renueva la actividad sedimentaria del Globo, muy apagada después del largo período cambrosiluriano, de escasa actividad creadora de montañas. No olvidemos que son las tierras firmes, los continentes, y sobre todo las montañas, las que por su destrucción suministran el material sedimentario, las arenas, los cantos, los lodos, que arrastrados por los ríos, o arrancados a las costas, forman en los mares, océanos o interiores, los sedimentos que constituirán las futuras rocas. Las cordilleras arcaicas estaban completamente arrasadas, y los cratones o macizos, lisos ya, igualado su relieve por la acción destructora, han agotado su energía; los ríos transcurren lentamente sin fuerzas para desgastar el fondo y las orillas. Los débiles plegamientos cambrianos, muy locales por otra parte, suministran escaso material. Pero la surrección de estas cordilleras caledonianas renueva el proceso, y los continentes están de nuevo en condiciones de suministrar grandes cantidades de material, a lo largo de los cientos de miles de años que va a durar su destrucción. Comienza, pues, la época devoniana con gran actividad sedimentaria. En la zona europea meridional, donde los plegamientos cambrianos y silurianos apenas o nada han dejado sentir su actividad en los fondos de los mares sobre los sedimentos cambro-silurianos se deposi-

Devoniano.

El Siluriano en el mundo.

tan los devonianos. Pero sus características son con frecuencia distintas. Los fragmentos de las cordilleras, aunque lejanas, son tan abundantes que llegan lejos, quizás arrastrados por corrientes submarinas. Arenas de angulosos bordes se depositan sobre las pizarras cambro silurias dando lugar a unas especies de areniscas de elementos esquinados, cementados por materia cristalina, carbonato de cal o sílice, que se denominan *grauwackas* y son características de la época iniciada en el Devoniano.

La vida salta de las aguas a la tierra firme.

Pero hay un acontecimiento trascendental en esta época. La vida hace sus primeros intentos para salir del mar y saltar a tierra. Algunos seres, primero, tímidamente, luego más atrevidos, salen a las orillas conforme se van adaptando a las condiciones terrestres. O quizás, son especies nuevas, provistas en el admirable esquema de la Creación, cuyo instinto les da a conocer desde el primer momento que son capaces también de vivir en tierra firme. Ya no son sólo los animales anfibios los que hacen esta prueba, sino que también la vida vegetal salta a los continentes, y ésta empieza a verse animada de vida, poblada por muchos seres extraños y extravagantes, aunque otros muchos resultarían familiares al espectador actual, por ser afines a algunos actualmente vivientes. La escala de seres animados se sigue poblando con gran rapidez. En cambio, hay grupos enteros que se extinguen para siempre, como, por ejemplo, los *graptolíticos*; y otros empiezan a retroceder como los *trilobites*, mucho más escasos.

Los peces siguen proliferando, y nuevos tipos se añaden a los del Siluriano. Un grupo, ya aparecido en el Siluriano, empieza a hacerse notar. Se trata de los cefalópodos, seres que vivían en la última celda de una gran concha arrollada en espiral sobre sí misma, algunas veces

revestidas de bellísimos nácares, y cuya cabeza estaba provista de brazos. Precisamente su rama original, la de los *Nautilus*, aún se conserva, y sus individuos pueblan aún nuestros mares cálidos surcando elegantemente las aguas sobre sus quillas, impelidos por el aire que choca contra sus erguidos y arrollados brazos.

Pronto empiezan a multiplicarse en una infinidad de variedades, de tipos caracterizados por distintas formas y caprichosos adornos que son muy útiles ya, y lo serán aún más en adelante, como fósiles característicos, por la corta vida de cada tipo y la gran variedad de sus especies.

tranquilidad de la corteza, nuncio de nuevos plegamientos.

Los tiempos devonianos son más bien de reposo y tranquilidad de la corteza. No en absoluto. En ciertas regiones hay plegamientos débiles que hacen surgir de los mares rocas devonianas, e incluso más antiguas, y éstos se consideran, en parte, como reflejos póstumos de extinción de los grandes plegamientos caledonianos los más antiguos, y como preludio de un nuevo y gran plegamiento, los más modernos. En determinado momento tiene lugar un plegamiento más intenso que afecta ya a zonas más extensas del Globo. Es la primera frase activa de los plegamientos que se denominan Hercinianos o Variscos, y con ella se considera terminada la etapa devoniana e iniciada la carbonífera.

Carbonífero.

No es esta de características esencialmente distintas, sobre todo en la naturaleza de sus sedimentos marinos y, por consiguiente, en el carácter de sus rocas, y también abundan, entre las de edad carbonífera, las *grauwackas*.

Otro tipo de rocas: las oránógenas, reacionadas con los seres vivos.

Con la intensificación de la vida en los mares y tierras hay una adición muy importante a los tipos de rocas que hemos considerado hasta ahora, el grupo de las rocas or-

ganógenas que, de una manera o de otra, están ligadas en su origen a los seres vivos. En general, no son tipos nuevos de rocas, sino que se trata de tipos ya conocidos, pero en cuya formación tienen parte importante dichos seres.

Rocas organógenas de origen biológico.

Unas veces es por su acción biológica. Así, por ejemplo, hay organismos que tienen la propiedad de fijar la sílice o la cal que está disuelta en el agua, en cuyo medio viven, como por ejemplo algunas algas, y acumularla en masas pétreas, en verdaderas rocas, bien calizas, bien silíceas.

Otras veces, seres vivos de gran proliferación, y dotados de esqueletos o conchas calizas, viven en colonias pobladísimas y muy extensas, en masas apiladas, que se renuevan, engrosando constantemente, porque sobre los esqueletos de las últimas capas se desarrollan las nuevas generaciones, y se llega así a acumulaciones ingentes de material calizo. Muestra de esta actividad, y de la magnitud de su escala, son los arrecifes y bancos coralinos que cubren grandes extensiones en los mares tropicales, apilándose en forma ininterrumpida hasta sumar espesores enormes. No son sino los esqueletos de estos seres, que viven en apiñadas colonias, sustentando en su superficie la última generación. Y no son sólo los corales los que se apiñan de esta manera, sino que conchas muy distintas, como, por ejemplo, las de las familias de las ostras, se apilan en potentes bancos de carácter extraordinariamente calizo, dado el grosor y textura de estas conchas, y ahora y en el pasado, otras muchas especies vivientes o ya extintas han dado lugar a la acumulación, por capas o estratos, de grandes espesores de material calizo, que, petrificado, da lugar a aquellas calizas de tipo especial y de

origen organógeno, que con frecuencia se encuentran cuajadas de los restos y materiales fósiles que les dieron origen, pero que muchas veces han recristalizado de modo tal que se ha perdido toda huella de aquéllos y aparecen como compactas calizas cristalinas estériles.

Rocas organógenas de origen detrítico.

Otra causa, no tan directamente biológica de formación de calizas organógenas, sino de tipo de pura agregación mecánica, es la siguiente: hay, en los mares, zonas costeras donde la vida marina es intensísima y activísima. Toda clase de seres, fijos, flotantes o nadadores pululan en las aguas, alimentándose unos de los otros, y proliferando todos en la abundancia mutua. Viven y mueren en cantidades ingentes, y los restos sólidos, predominantemente calizos, de todos aquellos que están provistos de concha o esqueleto, van al fondo y se depositan en los lodos o arenas. Así se forman sedimentos materialmente cuajados de conchas, o de fragmentos de conchas que les imprimen composición netamente caliza, y se originan gran cantidad de esas calizas arenosas y fosilíferas que tan abundante material, y tan útil, suministran al geólogo.

A partir del momento de la aparición de la vida entran en juego estas rocas, y es posible que muchas calizas y cuarcitas arcaicas marmorizadas y recristalizadas por la temperatura, las presiones, o simplemente por la edad, hayan tenido este origen, aunque luego se haya perdido, en la transformación, toda huella de los seres vivos que las originaron.

Varios tipos de rocas de origen organógeno.

Conforme la vida se va desarrollando y ganando en intensidad y amplitud, estas rocas son cada vez más abundantes, extensas y potentes, alcanzando lugar muy importante entre las rocas sedimentarias. En el Cambriano y el Siluriano, predominan quizás las pizarras negras, pero no



faltan tampoco las rocas organógenas, y entre ellas son notables las calizas mencionadas de *Archeocyathus*, de universal distribución. De los mares devonianos, tan poblados, tienen excepcional importancia las rocas cuajadas de fósiles, y de ello tenemos buena muestra en España. En el Carbonífero se forman inmensas moles calizas, muchas de ellas organógenas, que, surgidas luego en los plegamientos hercinianos, forman, por su compacidad y resistencia, ingentes montañas que resisten la acción destructora, y todavía hoy se alzan en muchas regiones del mundo, como en España, en la montañosa Asturias, a cuyo relieve no poco contribuyen esas calizas que son universalmente conocidas como *calizas de montaña*. Y en todas las épocas geológicas posteriores siguen conservando importante lugar, al lado de otras rocas sedimentarias de igual carácter petrográfico y distinto origen.

Otra roca organógena: el carbón.

Otro importantísimo grupo de rocas organógenas empieza a abundar durante los finales de la época devoniana y alcanza su punto álgido durante el Carbonífero, para decaer más tarde su importancia, aunque se continúan constituyendo en otras épocas geológicas, incluso en la actual. Gracias a ellas ha sido posible el magnífico movimiento industrial que empezó en el siglo XIX y nos ha llevado gradualmente al descubrimiento y producción de la energía atómica, con desenvolvimiento tan rápido, que rebasando peligrosamente el desarrollo de los valores morales de la Humanidad, quizás en regresión, ha organizado una situación peligrosísima que quizás lleve en sí el germen de su destrucción. Los carbones: antracitas, hullas, lignitos o turbas, son estas rocas organógenas, que calentando la primera caldera de vapor hicieron posible el cataclismo de Hiroshima, el Waterloo quizá de esta humanidad enio-

quecida, no menos que el petróleo, otra roca organógena, de descubrimiento posterior, que mueve la horripolante máquina de la guerra actual con sus «panzers», lanzallamas y «Constellations», y otros poco civilizados medios de destrucción.

El Carbón, roca sedimentaria de origen vegetal.

Es precisamente el Carbonífero la gran época de formación de la hulla, y de ella deriva su nombre. Parece ser que las condiciones atmosféricas y de clima favorecieron en aquella época el desarrollo de una lujuriente vida vegetal. Las tierras y continentes, poco antes desiertos y desnudos, se revisten de incomparable y riquísimo manto de verdor. Son plantas primitivas, sin flores, parecidas y relacionadas con los actuales helechos y colas de caballo, pero con gran variedad de tipos. Y si bien podían tener el porte y talle herbáceo de las variedades que conocemos ahora, podían alcanzar no sólo las dimensiones de los actuales helechos tropicales, que forman bosques, sino desarrollo completamente arbóreo. Había, por ejemplo, *Calamites*, como árboles gigantescos, parecidos a nuestras cañas, y sus lejanos parientes: *Sigilarias*, *Lepidodendron*, otras especies de curiosas formas; helechos grandes y pequeños, constituyendo impenetrables masas selváticas, de carácter extraño, no sólo por la extravagante forma de muchos de los árboles que las componían, sino por el silencio tan desacostumbrado, para nuestro concepto de la selva, poblada de cantos de pájaros, y de alegres o terroríficos gritos de animales, porque las selvas del período carbonífero estaban escasamente pobladas, de animales tan poco ruidosos como desagradables en su aspecto, asquerosos reptiles, anfibios más abundantes, y sólo los primeros insectos zumbaban en el aire.

Mientras que las selvas que poblaban los continentes

del hemisferio Norte eran variadas en su composición, con los diversos géneros que hemos nombrado, otros muchos y sus diversas variedades, selvas no menos espesas y mucho más extensas cubrían los del hemisferio Sur, pero eran extrañamente monótonas, y en ellas imperaba, con carácter casi de exclusividad, el género de los *Glossopteris*. Y no es esta la sola diferencia, porque mientras las selvas nórdicas se desarrollaban en ambiente neta e indiscutiblemente tropical, en las meridionales reinaba clima frío y, con frecuencia, incluso glacial.

Estas masas de vegetación son las que, petrificadas, han dado lugar a los carbones. Sea que largas temporadas de lluvias desatadas arrancasen ramas, desgajasen troncos, que eran arrastrados por las sucias y turbulentas aguas de los ríos, los cuales, al final, los depositaban en los estuarios costeros, donde quedaron rápidamente enterradas bajo los lodos que las acompañaban, bien sea que extensas zonas de bosques se sumergieran lentamente en el seno de las aguas, tanto en regiones costeras, tanto en zonas lagunares o pantanosas del interior de los continentes, el caso es que poderosas masas vegetales, bien arrastradas y depositadas luego, bien enterradas «in situ», quedaban soterradas bajo los lodos y sedimentos. Porque no son sólo los plegamientos violentos los únicos movimientos que experimenta la corteza terrestre, sino que zonas extensas de la corteza pueden surgir o sumergirse bajo las aguas, en masa, sin sufrir trastornos, lentamente, a lo largo de períodos geológicos de gran duración.

En cualquiera de estos dos casos, grandes masas de substancia vegetal quedaron sumergidas bajo las aguas y cubiertas por sedimentos, alternando las capas de materia

vegetal y mineral, merced a la eterna pulsación de los fenómenos terráqueos.

Esta materia vegetal, sustraída al contacto del aire, es decir, a la acción del oxígeno, experimenta un proceso peculiar, y muy lento, de descomposición. En vez de destruirse rápida y completamente como la substancia vegetal que queda en la superficie, se carboniza lentamente, dando primero lugar a la turba, de cuya formación somos testigos hoy en día en muchas regiones pantanosas del Globo; por ejemplo, en las llanuras de Reínosa (Santander), fondo de un lago recientemente desecado y que merced a la mano del hombre volverá a ser lago artificial: el pantano del Ebro. Continuando el proceso, después de muchos cientos de millares de años, se transforma la turba en lignitos, más o menos oscuros consistentes y brillantes, según su antigüedad. Las hullas no son sino antiguas turbas, antiguos lignitos, que por su venerable edad carbonífera han alcanzado un grado de carbonización y petrificación tal que son rocas duras, negras y brillantes, tanto más cuanto más viejas, de modo que a las más antiguas entre ellas, del Carbonífero más bajo, e incluso del Devoniano, se les denomina o distingue con el nombre especial de antracitas. Sus propiedades físicas y químicas y la cantidad de calorías y gases que dan al arder corresponden a su grado de transformación y envejecimiento; o sea, en líneas generales, a su edad.

Así, pues, el carbón mineral no es sino una roca sedimentaria, organógena, de origen vegetal. Se encuentra en capas, comprendida entre estratos de otras rocas, generalmente pizarras, que corresponden a la petrificación de las arcillas que soterraron la masa vegetal. Y no cabe ninguna duda de ello, porque no sólo han dejado los restos vegetales

su huella indeleble impresa en las pizarras, sino que sus troncos y raíces, petrificados en el carbón, se han conservado hasta nuestros días y pueden verse en las minas y en los museos.

Ahora que en estos tiempos de escasez reparten los comerciantes un carbón mal lavado, sucio, con las pizarras que lo acompañan, todo el mundo puede ver en su propia casa cómo esas pizarras que pagan a altos precios, aunque sólo le originan molestias, presentan con frecuencia delicadas impresiones de frondas enteras de helechos o de otras plantas no conocidas en la actualidad.

Todo el detalle es perfectamente visible. Las dentelladas hojas, sus finas nervaduras, su inserción en los tallos, su distribución en ramas. Gracias a estos restos, agrupados y estudiados con paciencia, se ha podido llegar al conocimiento y reconstrucción de las especies que poblaban los bosques carboníferos, y se encuentran descritos, catalogados y figurados, casi con la misma precisión y detalle que sus equivalentes de origen animal.

El petróleo, roca sedimentaria organógena de origen animal.

El petróleo, a pesar de su naturaleza líquida o viscosa, es otra roca de origen organógeno. Y no nos extrañemos de su denominado de roca, pues para el geólogo, en puro significado técnico, el agua misma no es sino una roca, y evidentemente lo es cuando está transformada en hielo como ocurre en los casquetes polares y en los glaciares.

El origen del petróleo es paralelo al del carbón, pero procede de la descomposición de seres animales. Hay catástrofes que se producen rara vez durante la vida de generaciones, pero que se repiten en abundancia a lo largo de la Historia del Globo. Aun en nuestra época, hemos sido testigos de los terremotos del Japón, y se recuerdan con terror el de Lisboa y otros muchos. Unas lluvias torrencia-

les de carácter excepcional en la Pampa Argentina podrían causar la muerte de millones de cabezas de ganado, que podrían ser arrastrados por el Plata a su estuario. No hay nada inverosímil en este suceso. Fenómenos de esta índole habrán ocurrido muchas veces a lo largo de la historia del Globo.

Puede desviarse la corriente del Golfo e invertirse su sentido, de modo que corrientes de frías aguas polares alcancen repentinamente cálidos mares tropicales poblados de seres acostumbrados a una amable vida en tibias aguas. Incapaces de adaptarse tan rápidamente al brusco enfriamiento, morirán en masa, cayendo al fondo, y siendo cubiertos por los lodos arrastrados por esta nueva e impetuosa corriente. También ello ha ocurrido muchas veces en la vieja historia de la Tierra. Es indiferente que estos seres sean grandes mamíferos, peces y moluscos o diminutos seres microscópicos, invisibles a los ojos humanos, pero que pululan en las aguas en cantidades inmensas. Es en todo caso, sustancia orgánica, en grandes cantidades, enterrada bajo sedimentos, y, como en el caso del carbón, sustraída a la acción destructora del aire, del oxígeno. Entonces entra en descomposición, pero no la rápida putrefacción atmosférica, que reduce rápidamente a la nada toda materia carnosa, e incluso ósea, sino lenta descomposición, hecha más compleja por la salsedumbre del mar; complicado proceso químico distinto del de los carbones, que origina una especie de lejía, de sustancia viscosa, pútrida y maloliente, que es la sustancia madre del petróleo. Empapando los sedimentos arcillosos, sometido a grandes presiones, se transforma lentísimamente en la compleja mezcla de hidrocarburos, combinaciones diversas de moléculas de carbono e hidrógeno, que constituyen el pe-

tróleo. Advirtamos que ambos procesos, el de la carbonización y el de la petrolificación, se han reproducido más o menos fielmente en el laboratorio con resultados, si bien no definitivos, sí lo suficientemente aproximados como para atestiguar la autenticidad de estos procesos más o menos hipotéticos.

El carbonífero, época del carbón.

Tanto el carbón como el petróleo han podido formarse en cualquier época desde el momento en que apareció la vida, pero ha habido algunas en que la conjunción de circunstancias favorables fué tal que se formaron en grandes cantidades. Tal es la época carbonífera para el carbón.

La vida en el Carbonífero.

Aparte de la vida vegetal que poblaba las tierras carboníferas, continuaba el proceso de la evolución en los mares. No sólo aparecen los primeros reptiles, sino que nuevos tipos de peces pueblan los mares. Y no sólo es esto. Hay abundantes corales, entre ellos muchos de nuevo aspecto; también abundan los braquiópodos. En cambio, los *trilobites* están en franca retirada y caminan a su extinción. Los Nautilidos dan origen a otras ramas de conchas más complicadas en su estructura y en sus adornos: los *Ammonites*, que a tan inmensa y variada colección de tipos darán origen más adelante. Y los primeros insectos dan señales de vida. En los mares, unos seres sencillos, las *Fusulinas*, constituidos por un solo tipo de célula, pero de dimensiones considerables, hasta más de un centímetro de longitud, se arman de un esqueleto calífero, constituido por una lámina arrollada en espiral, fusiforme, como un grano de cebada. Vivían en cantidades enormes y sus restos petrificados en masas calizas, donde han quedado engastados sus curiosos y bonitos esqueletos, dan lugar a las que, por contenerlos, se conocen con el nombre de *calizas de fusulinas*.

Los plegamientos Hercinianos.

En cuanto a la corteza del Globo, aparte su intranquilidad habitual de movimientos pulsatorios más lentos y de gran extensión, que hace emerger unas tierras, y sumergir otras, bajo los mares, se agita con inusitada violencia en una de las más gigantescas convulsiones de que haya sido víctima la Tierra.

La Tierra no es inerte, aunque otra cosa pueda parecer a nuestras inadecuadas circunstancias de apreciación. Ya durante el Devoniano, por no hablar de los oscuros tiempos arcaicos, plegamientos débiles, de carácter universal, comparables a los leves movimientos respiratorios de una persona que duerme, son anuncio del alzamiento que se prepara; y una fase más intensa, el despertar de la Tierra a una activa época de convulsiones, ha sido utilizada por los geólogos para marcar el final de la época devoniana.

Destruídas durante el Devoniano y primera época del Carbonífero las cordilleras caledonianas, los senos marinos de sedimentación están colmados de sedimentos que se acumulan en grandes espesores de estratos. Las presiones ejercidas sobre el fondo son muy grandes y los magmas desplazados por ellas se acumulan marginalmente ejerciendo crecientes presiones laterales. El desequilibrio revela tensiones peligrosas, y la corteza, incapaz de resistir más, empieza a impacientarse con inquietas sacudidas. Hasta que llega un momento en que se desencadena el proceso. Los bloques laterales, los macizos marginales, levantados subterráneamente por los desplazamientos de los magmas, avanzan uno contra otro, comprimiendo con fuerza irresistible los sedimentos acumulados entre medio. Estos, estrujados, tratan de resistir, levantando en bóveda, bajo la cual acuden los magmas, en fusión al ser liberados de la presión por la lucha de las fuerzas opuestas. Hasta que incapaces los

paquetes de estratos de resistir más, ceden y se pliegan y repliegan, rompiéndose y avanzando unos fragmentos sobre los otros. Los magmas se insertan entre las capas más bajas, o se vierten al exterior por las grietas, hasta que, liberadas las tensiones al final de la titánica lucha, las masas sedimentarias, descomprimidas, vuelven a gravitar sobre los magmas, y éstos, obligados por la presión, vuelven a solidificarse, a pesar de su elevada temperatura.

Así surgen las cordilleras hercinianas en varias fases o actos de plegamiento, durante el primer tercio de las épocas carbóníferas, en algunas regiones del Globo; en el segundo tercio en otras; pero, reflejos póstumos de esta actividad creadora de montaña o *actividad orogénica*, dicho en términos geológicos, persisten como reajustes de equilibrio, como tensiones no satisfechas, en forma de plegamientos tardíos y más débiles, durante los últimos tiempos del Carbonífero e incluso más tarde todavía.

Es en esta segunda fase, cuando la Masa Ibérica empieza a existir. Una pequeña parte de las rocas que constituyen la península actual son, al parecer, arcaicas. Afloran al Oeste de la Península, entre Andalucía occidental y Galicia. ¿Son restos de un antiguo cratón? ¿Se extienden a más profundidad, sin asomar en la superficie, bajo los sedimentos posteriores y bajo los mares que la rodean? Por ahora, y quizás para siempre, esta cuestión ha de quedar entre interrogantes. En todo caso parece que esta problemática masa sólida, este cratón, no emergía al comenzar el Paleozoico. Más o menos profunda en el seno de los mares, recibió sobre sí sedimentos Cambrianos, Silurianos, Devonianos y Carboníferos, en serie casi ininterrumpida, a los que dan variedad no sólo la diversidad de los materiales, que dispuestos en capas la constituyen, sino los seres fosi-

La futura Península Ibérica empieza a adquirir entidad.

lizados, que permiten fijar su edad y atribuir cada capa a su época de creación.

Tornando a los continentes, vemos que el seno marino entre los macizos resistentes del hemisferio nórdico y del meridional se ha ido estrechando y reduciendo. Las cordilleras caledonianas, al adosarse marginalmente a los escudos nórdicos, festoneándolos, ensancha hacia el sur los macizos. Estos, que son las mandíbulas de los próximos plegamientos, han quedado más próximos a los sedimentos que se depositan en el área que luego ocupará la Península Ibérica. Por otra parte, una sedimentación ininterrumpida casi desde el Cambriano hasta el Carbonífero es capaz de acumular en el futuro ámbito de aquélla muchos miles de metros de sedimentos, que pesan ya inaguantablemente sobre el fondo. No es, pues, de extrañar que en los próximos plegamientos hercinianos esta zona sea testigo y objeto de la gran tragedia orogénica.

Actúan, pues, los plegamientos hercinianos de aquella segunda fase intensa, sobre los sedimentos hasta ahora tan tranquilos, y con fuerza excepcional surgen de los mares, extraordinariamente plegados, todos los sedimentos cambrianos, silurianos, devonianos y carboníferos, y entre estos últimos se levantan también las capas de carbón; fragmentos del cratón arcaico son arrastrados por encima de las aguas, y una masa plegada los rodea, constituyendo una tierra firme, de contornos aún desconocidos, y muy distintos de los actuales, pero situados en la misma zona de la actual Península y emergidos, en parte, para siempre. Porque, además, al estar muy plegados han alcanzado ya aquel estado cratónico, o casi cratónico, aquella especie de inmunidad más o menos absoluta al plegamiento, y de ahora en adelante se han convertido en yunque, en macizo resistente,

donde se estrellarán los posibles y futuros plegamientos. Magmas graníticos acuden a los ejes de los más amplios pliegues, digieren y metamorfozan los sedimentos arcaicos, cambrianos y silurianos en su contacto, y se consolidan lentamente, por enfriamiento, cristalizando.

Toda la parte oeste, centro-oeste y norte de la Península no es sino un fragmento visible de esta enorme masa plegada y levantada con los pliegues hercinianos.

Macizos graníticos de la Península.

Los núcleos graníticos españoles de Galicia, Salamanca, Extremadura y N. de Andalucía; los de las Sierras Centrales, Gredos y Guadarrama, son las masas magmáticas que acudieron a la zona donde las compresiones laterales de los plegamientos hercinianos descargaron a los magnas de las presiones gravitatorias de los sedimentos, y las aureolas metamórficas que las rodean con sus zonas de gneises, de pizarras cloríticas y satinadas, no son sino depósitos cambrianos y silurianos, metamorfozados, lo cual es comprobable en algunos casos, porque siguiendo lateralmente sus capas o estratos nos acercamos por fajas graduales de metamorfismo decreciente, a sedimentos cambrianos o silurianos no alterados, e inconfundibles, caracterizados por fósiles. En los granitos del Guadarrama se ve cierta sospechosa repetición de planos paralelos, con persistencia y nitidez nada habituales, no consustancial con la naturaleza misma de la roca. Viendo desde el tren o desde el coche este fenómeno, se piensa si un estudio detallado no mostrará que son verdaderos planos de estratificación de rocas sedimentarias digeridas y asimiladas por el granito, granitizadas, en una palabra, pero respetando algunos rasgos de su primitiva disposición sedimentaria.

El arco galai-có-astur.

No sabemos cuál fué la primitiva extensión de esta cordillera, pero sí que la parte hoy visible es sólo un frag-

mento de ella. Se admite que el arco dibujado en Asturias y Galicia por las formaciones paleozoicas plegadas en conjunto y que vuelve su concavidad hacia el golfo de Vizcaya, se prolongaba por el Atlántico hasta enlazar con otras formaciones de idéntica edad y disposición en Inglaterra, y que, como ellas, contienen carbones. La riqueza minera en Asturias no es sino una hermana, pobre, de la deseable riqueza carbonera de Inglaterra.

Es posible que al producirse la descomposición, al aflojarse las mandíbulas, el conjunto se aflojase también y que fragmentado en bloques por las fracturas originadas, muchos de ellos se hundieron y yacen ahora bajo el Atlántico y el Cantábrico, y al este de la meseta castellana. Lo cierto es que la parte actualmente visible quedó más alta que las contiguas, y éstas fueron pronto presa de la invasión de los mares, por lo que quedó el macizo astur-galaico-extremeño-castellano levantado como una grande y orgullosa cordillera, cuyas cumbres están cubiertas de eternas nieves. Lo que ahora vemos con las raíces de ella, arrasadas por la erosión, como si hubieran sido cortadas cerca de la base por gigantesco cuchillo.

Los granitos entonces no eran visibles, o lo eran sólo en pequeños retazos oblongos; pero la erosión, trabajando incansablemente a lo largo de los tiempos secundarios y terciarios, ha arrastrado de por encima de ellos la mayor parte de los sedimentos paleozoicos, dejando desnuda una superficie cada vez mayor de los estériles granitos y arrastrando a los mares quién sabe qué cantidades fabulosas de carbón de incalculable valor.

Por el Este, una sección de la cordillera, más hundida, sumergía la base de sus montañas en los mares, y sólo las cimas, como islas, surgían de entre las aguas, para seguir el mismo camino de destrucción.

Cordilleras hercinianas del mundo.

No era esto sino un fragmento de una inmensa cordillera, que se extendía no sólo por Francia, Inglaterra, Alemania y Bohemia, hacia el Este, sino que por Asia Menor y norte de la India, se extendía por el Arco Pacífico que contornea el continente asiático, por Birmania, China Oriental, las islas Japonesas y Manchuria y la parte más oriental de Siberia. Y otras cordilleras semejantes, las Apalaches, surgían en Norteamérica, y aun otras, contorneando por el Oeste el Escudo Brasileño.

Se adosaron, pues, por una parte, al Escudo denominado de Angara, o Rusosiberiano y el Cratón Bálticoeuropeo, ensanchados ambos antes por la orogénesis caledoniana y ahora por la varisca o herciniana; y por otra, al Escudo canadiense y al Brasileño.

Los sedimentos que rodeaban al Escudo africano salieron, en cambio, indemnes, persistiendo en lo hondo de sus fosas, salvo ligeros levantamientos al norte y al sur, en la región de El Cabo. Y no es preciso decir que la mayor parte de los sedimentos depositados sobre los viejos cratones, en la medida en que éstos fueron invadidos por los mares, quedaron intactos o apenas experimentaron plegamientos.

Contraste del paleozoico español con otras zonas Paleozoicas.

Así es como se da el contraste de que las formaciones paleozoicas en España se encuentran, puede decirse siempre, plegadas y muchas veces con extraordinaria violencia, mientras que sobre los cratones africano y grandes extensiones del americano fueron protegidos por una sólida base, y aun yacen horizontales o poco inclinados.

El Gran Cañón del Colorado, la más inmensa cicatriz de la tierra firme que ofrece el Globo terráqueo, nos ofrece un espectáculo desconcertante para un geólogo español. Allí las capas paleozoicas, del Cambriano al Permiano, am-

bos inclusive, están casi horizontales, dispuestas perfectamente unas sobre otras en un apilamiento que rebasa los 1.700 metros de espesor, sin el menor trastorno; y las mismas características presenta el Paleozoico en muchas otras zonas de Africa, Asia y América.

No tiene, pues, nada de extraño que después de tan tremenda convulsión como supusieron los plegamientos hercinianos o variscos, haya cambiado algo la faz de la Tierra. Se han ensanchado los cratones del hemisferio Norte, engrosados en dirección Sur por la adición de las cordilleras hercinianas. Entre unos y otros cratones han surgido además cordilleras que los sueldan. Se va definiendo cada vez más un inmenso mar mediterráneo, el *Mar de Thetys* de los geólogos, entre los macizos resistentes del hemisferio norte y del meridional.

mar de Thetys.

Configuración mundial a fines del paleozoico, Angara Gondwana.

Tenemos, en el primero, un inmenso continente nordatlántico, que tiene como masa principal el Escudo canadiense, y separado por un mar, y más al este, otro continente, el que los geólogos denominan *Angara* o Macizo Asiático. Y por el sur, una serie de masas continentales de recortados e indeterminados contornos, más o menos ligadas e independientes, que el geólogo denomina, en conjunto, continente de *Gondwana*. Entre medio se extienden los mares del mediterráneo mar de Thetys, que va a recoger la mayor parte de los sedimentos resultantes de la destrucción de las cordilleras hercinianas.

mo reconstruye el geólogo, la geografía de los tiempos pasados.

¿Cómo puede el geólogo llegar a precisar los contornos de los continentes, e incluso, su misma existencia? Ya dijimos antes que, en general, lo que hace es, más bien, determinar dónde existieron los mares, puesto que dondequiera que encuentre sedimentos marinos, hoy emergidos, sabe que en una época, determinada por los fósiles, hubo

mar. Otras zonas de tierra firme son bien conocidas por otro motivo; así, sabemos que la mayor parte del macizo galaico-castellano quedó emergido desde su surrección en el Carbonífero, porque en ella nunca más se sedimentaron capas marinas; y eso se sabe también de muchas y muy extensas zonas del Globo. Pero quizá la indicación más preciosa la recoge del mismo carácter de los sedimentos, reconocible en las rocas a que dieron lugar, y a este conjunto de caracteres se le denomina *facies*, concepto fundamental de la Geología.

Otro concepto básico de la geología: las facies.

Facies litológicas.

Cuando un torrente vierte su detritus en un lago, los cantos arrastrados por sus aguas, como más pesados, caen los primeros al fondo, porque aquéllas pierden su energía de arrastre al mezclarse con las quietas y tranquilas del lago. Los fragmentos arenosos, más ligeros, son arrastrados más lejos, y se depositan como arenas bastas más cercanas a la orilla, mientras que las más finas y más ligeras llegan más lejos. Los lodos, en cambio, tan leves, quedan en tenue suspensión en las aguas del lago, y se dispersan, ensuciándolas, arrastradas por las débiles corrientes, hasta que lentamente se van posando, y se sedimentan en el fondo como fino légamo. Se produce, pues, una separación mecánica, por diferencia de densidades, que está en relación con la fuerza de la corriente torrencial y fluvial, y la distancia a la orilla. Lo mismo ocurre con las corrientes de agua que desembocan en el mar, y con los detritus que resultan de la destrucción de una costa. En la orilla encontramos los grandes bloques aun no desmenuzados, y las playas de cantos rodados o de arenas; más adentro sólo bancos de arena, y, lejos de la costa, donde las aguas pierden su energía de transporte, sólo los finos lodos. Ahora bien; los cantos dan origen a conglomerados; las

arenas a areniscas, los lodos a arcillas, margas y pizarras. Sabemos pues que, en general, las rocas arenosas indican la proximidad a costa u orilla; las margas de grano fino y muy limpias, sobre todo muy limpias de arena, lejanía; los conglomerados, proximidad muy inmediata a la costa.

facies nos revela las condiciones geológicas de la sedimentación.

Si estudiamos una formación plegada, y llegamos a conocerla bien, podemos imaginarla planchada y extendida. Veremos que, en general, no es uniforme, sino que unas zonas de margas muy limpias se van ensuciando en determinada dirección, se cargan de arena, se convierten, finalmente, en areniscas, cuyos granos son cada vez más bastos, hasta pasar a pudingas. Deducimos, pues, que en esta dirección había una costa, y en la opuesta el seno acuífero se profundizaba. Estudiando sistemáticamente estos cambios de características, o *cambios de facies*, como los llama el geólogo, se puede deducir dónde estaban las costas y dónde los océanos. Estos datos se completan con los antes mencionados de observación directa, y se llega a fijar la posición de los antiguos continentes con mayor o menor precisión y seguridad, y aun la de sus costas.

facies biológicas y su utilidad.

Las facies, pues, nos retratan las condiciones físicas de formación de la roca; y esto no es todo. Las calizas organógenas se forman en las zonas donde es más activa la vida marina; pero ésta es precisamente más intensa a profundidades moderadas, y, por consiguiente, no lejanas en general a las costas. Así, pues, las calizas se suelen intercalar en la serie anterior entre las margas y las arenas. Por un lado tenemos, hacia las mayores profundidades, las margas calíferas, las calizas margosas, las verdaderas calizas, las calizas arenosas y las arenas calíferas o maciños antes de llegar a las auténticas areniscas. Por tanto, las calizas nos suministran datos muy interesantes; y no



sólo por su situación, sino también por los seres petrificados en ellas, pues algunos de ellos sólo podían vivir en aguas cálidas, otros en aguas limpias, o podían tener otras exigencias que nos dan luz sobre las condiciones de formación; es decir, sobre las facies.

No crea el lector que esto es tan sencillo y terminante como lo estamos expresando. Es sólo generalización, o aproximación con muchas excepciones. Pero el criterio y la experiencia que suministra la práctica de la geología permite al geólogo captar en cada caso su valor de generalidad o de excepción y hacer la síntesis de un conjunto, valorando los matices significativos. Son muchas las teclas que ha de tocar, y no es ésta de las facies de las menos delicadas.

Y ya que hablamos de teclas, vamos a hacer sonar otro de los bemoles de la Geología.

La discordancia herramienta habitual del geólogo.

Todos los movimientos lentos o rápidos, suaves o violentos de la corteza, quedan registrados en sus capas. Y no es sólo que las capas quedan plegadas o inclinadas, sino que, si sobre ellas se depositan nuevos sedimentos, sus lechos, al quedar horizontales, formaron un ángulo mayor o menor con los primeros. Es lo que se llama *discordancia*, y se mide por su ángulo. Por ejemplo, una cordillera originada por plegamiento, muchas veces hunde en la mar uno de sus flancos, constituido por capas muy inclinadas, como ocurre, citemos un caso, con la cordillera Andina todo a lo largo de la costa chilena. Los estratos que actualmente se forman a sus expensas como sedimentos marinos reposan en sus laderas, apoyándose con gran ángulo de discordancia. Muchas veces un plegamiento no es lo suficientemente intenso para hacer surgir los sedimentos fuera de las aguas; solamente los abomba, los acerca en su eje

a la superficie, pero la sedimentación prosigue, y sobre sus inclinadas capas se depositan sedimentos horizontales con marcada *discordancia angular*. Lo más interesante es que, al petrificarse esos sedimentos, la discordancia queda perpetuada, o por decirlo de una manera más gráfica, fosilizada, de modo que aunque de nuevo volvieran a plegarse en conjunto unas y otras capas, perdiendo las segundas la horizontalidad, la discordancia angular se conservará, y es así como, observando discordancias angulares, se ha podido conocer la existencia de antiguos plegamientos y localizar su edad.

Las discordancias, registran los movimientos, leves o intensos, de la corteza.

Consideremos ahora los movimientos más lentos, y que pueden afectar a extensas zonas de la corteza. Bloques enteros de la corteza terrestre, continentes inclusive, pueden ser sujetos a movimientos de ascenso y de descenso. Esto puede comprobarse, y aun medirse, en nuestros días. Son movimientos lentos y, por eso, se los denomina seculares, no porque se pueda medir su duración en siglos, que es menguada medida para los tiempos geológicos, sino porque la palabra nos sugiere la idea de largo período de duración.

Pueden alzarse, o descender en masa, o bien bascular levantándose de un lado y hundiéndose del opuesto. La consecuencia es que el movimiento puede tener amplitud tal que un continente sumergido salga en masa del seno de las aguas, o que se hunda en masa bajo ellas. El Continente Africano ha descendido en masa, recibiendo durante prolongadas épocas ininterrumpida sedimentación marina, que representa incluso la mayor parte de los períodos primario y secundario. La zona americana en que se enclava el Cañón del Colorado se ha sumergido en masa, recibiendo casi ininterrumpidamente depósitos sedimenta-

rios, desde el Cambriano, en los comienzos de la Era Paleozoica, hasta tiempos muy modernos. Rara vez estos movimientos han sido ininterrumpidos y en un solo sentido, sino pulsatorios, con alternadas emersiones y hundimientos, aunque han predominado los últimos. El mismo resultado se habría alcanzado si hubieran sido los mares los que hubieran ascendido o descendido de nivel, y, en realidad, nunca sabemos si fué una u otra la causa, porque sólo podemos apreciar el resultado relativo.

Hiatos en la serie sedimentaria o «lagunaestratigráfica».

En los casos citados, los sedimentos permanecen perfectamente ordenados y dispuestos casi horizontalmente, en la misma forma en que fueron depositados, ya que han sido protegidos del plegamiento por el rígido basamento arcaico sobre el que descansan (idea de la permanencia y estabilidad de las masas continentales). Ahora bien, los períodos de emersión están bien marcados, porque, al no haber sedimentación, faltan los estratos que corresponden a esa época, y que sin duda se hubieran formado de haber estado sumergida la región. Entonces hay lo que se llama una *laguna estratigráfica*, una discontinuidad en la serie de sedimentos. Tales *lagunas*, que son muy corrientes en las series estratigráficas, indican una interrupción en la sedimentación que puede tener también otras causas, aunque la mencionada es la más general. Lo que nos interesa decir aquí es que es difícil que la horizontalidad se conserve tan perfecta que el paralelismo se mantenga tras la interrupción, sino que se origina una discordancia angular, en general muy débil y difícil de descubrir.

Concordancia y discordancia.

En una palabra, se llaman *concordantes* a aquellas capas, estratos o series sedimentarias que se apoyan unas sobre otras conservando el paralelismo y la regularidad entre sus capas, y *discordantes* si forman cierto ángulo. Las

concordancias manifiestan tranquilidad de la corteza y falta de plegamientos y movimientos; las discordancias, todo lo contrario.

Falsas concordancias.

Si mañana (y no se inquiete el lector, porque es idea completamente hipotética) los mares aumentasen su nivel, e invadiesen la meseta castellana, sobre las capas o estratos horizontales de aquélla se depositarían sedimentos también horizontales, y se habría originado una *falsa concordancia*, visible por falta de estratos correspondientes a toda la no corta época de su emersión, y también porque el relieve tallado por la erosión sería relleno por sedimentos más modernos, y así tendríamos capas antiguas, que de manera inexplicable se prolongarían por capas más modernas dispuestas de la misma manera.

Las transgresiones o invasión, y las regresiones o abandono de zonas firmes por las aguas, fenómenos registrados en la sedimentación, y conceptos geológicos de primer orden.

Sin embargo, para llegar a la meseta, tendrían que pasar sobre todo el Sistema Ibérico, de montañas muy plegadas y más o menos arrasadas por la erosión. Entonces los sedimentos horizontales se depositarían discordantemente sobre un sistema plegado, y los ángulos de discordancia serían extraordinariamente variados y a veces muy grandes.

Un tal avance de los mares sobre las tierras se llama *transgresión*, y se aprecia por las discordancias y también porque una formación más moderna se apoya sobre muchas de edades muy distintas mediante ángulos muy variados, así como por las facies de los sedimentos. Una retirada de los mares de las tierras se revela igualmente en las facies y discordancias, pero con características y manifestaciones muy distintas.

Basculamientos o movimientos seculares y plegamientos.

Estos procesos de transgresión y regresión son muy frecuentes en la historia de la Tierra, y lo mismo pueden ser debidos a elevación de las tierras firmes, que a descenso

de los mares o viceversa. En general son procesos lentos, de mucha menor amplitud vertical que los plegamientos, pero que afectan con gran frecuencia a extensísimas regiones, ya que con frecuencia se deben a movimientos o basculamientos de masas continentales. La surrección de una cordillera, al desplazar grandes masas de agua de los mares, origina también transgresiones en otras regiones no plegadas. Discordancias, transgresiones y regiones son conocidas en los tiempos arcaicos, y se sabe, por ejemplo, que una gran transgresión tuvo lugar durante el Cambriano, que anegó en aguas poco profundas extensas zonas de tierra firme; otras grandes transgresiones ocurrieron durante la primera época del Siluriano, mientras que la segunda se caracterizó por regresiones. En el Devoniano medio los mares vuelven a ganar en varias transgresiones las tierras firmes antes abandonadas; en cambio, en el Carbonífero, los importantes acontecimientos orogénicos predominan sobre los de sedimentaciones lentas.

Características de los frentes transgresivos de sedimentación.

Los frentes de transgresión, o sea, la parte baja de las series sedimentarias que avanzan sobre antiguas tierras firmes como consecuencia de transgresión, se caracterizan por rocas detríticas, sobre todo, conglomerados y, luego, areniscas, ya que no son sino la fosilización de una línea de costa que avanzando gradual y lentamente tierra adentro por invasión del mar. El mismo contacto está constituido, primero, por la roca de base alterada y meteorizada; gradualmente y de manera insensible se pasa a una masa confusa de grandes bloques irregulares y poco trabajados; más arriba, los bloques son más pequeños y más redondos; luego son cantos perfectamente rodados y después gravillas y arenas.

Si el avance se hace sobre un país muy plegado, las dis-

condancias son marcadísimas, y sus ángulos muy grandes. Si se hace sobre un país poco plegado, es decir, de pequeñas pendientes, los ángulos son prácticamente inapreciables, y sólo se aprecian estudiando regiones extensas, porque una capa o formación sedimentaria, la que transgrede, tiene como base otras distintas de diferentes edades y se va apoyando gradualmente sobre unas u otras.

Lo interesante es que, como ya hemos dicho antes, si todo el conjunto se volviera a plegar, aprisionados entre los nuevos pliegues, se encontrarían registradas, no obstante, en los estratos, las mismas circunstancias. Así es como los geólogos por penosísimos trabajos que exigen cuidadosa observación y poderosa capacidad de síntesis y reconstitución, pueden desdoblar, estirar y planchar mentalmente una zona plegada en sus diversas fases de plegamiento y establecer su historia geológica.

Este proceso de reconstituir la historia de la Tierra, figurando la extensión y forma de los continentes y mares en sus diversas épocas, los movimientos de la corteza, climas y circunstancias similares es lo que denomina *paleogeografía* y es la labor geológica por «excelencia», la meta final, la culminación de todo trabajo de investigación geológica. Las más brillantes síntesis, los trabajos más importantes, tienen como objeto esta reconstrucción paleogeográfica y los más grandes nombres de la Geología, los genios de esta ciencia, son los que consagraron sus nombres por estos estudios paleogeográficos extendidos al Globo entero.

vemos a la historia del bo. El Perino apéndice del Paleozoico.

Después de los grandes plegamientos hercinianos parece que hubiera sido sensato dar por terminada una importante época de la historia del Globo, la Primaria o Paleozoica, caracterizada por la surrección de dos sistemas

de cordilleras, las caledonianas y las hercinianas, pero en extensas zonas, por ejemplo, en el continente africano, en Gondwana, la época permiana continúa casi sin modificaciones las características del Carbonífero, y, por esta razón, se incluye el Permiano entre las épocas paleozoicas.

En otras regiones el Permiano, iniciando una nueva etapa, tiene características parecidas a la primera época secundaria; la del Triás o Triásica. En España, el Permiano no tiene características propias muy marcadas. Hay regiones en que prolonga las características del Carbonífero, y entonces se lo denomina Permo-carbonífero, y entre otras, como, por ejemplo, en los Pirineos, encabeza la del Triásico y se denomina Permo-Trias.

Es más bien debido a condiciones climáticas. Levantadas las cadenas hercinianas en el segundo tercio de la época carbonífera empiezan a proporcionar abundante material sedimentario; pero mientras que hay zonas, como la africana, donde persiste la frondosa vegetación, en otras se originan climas desérticos. Al este de la meseta castellana, una depresión lacustre se llena de los detritus arenosos que vienen de las cordilleras hercinianas. Ahora están representados por potentes depósitos de areniscas rojas, con algunas, muy raras, impresiones de vegetales. La escasez de huellas de seres vivos indica el carácter desértico, su color rojo el carácter continental. Estos climas desérticos de la época permiana afectaban a zonas extensas del hemisferio norte; en cambio, en el meridional, predominaban las selvas de *Glossopteris*, en climas fríos, incluso cortados por períodos glaciales.

Un florecimiento de la fauna reptil, de monstruosas y repelentes formas, caracteriza la época permiana. Las plan-

tas empiezan a complicarse, y aparecen las primeras coníferas.

El clima seco y las condiciones desérticas del hemisferio norte ocasionan la desecación de mares que luego aislados por los plegamientos de la cordillera herciniana se convierten en lagos. Las sales, al aumentar su concentración con la evaporación, cristalizan y se precipitan, como en salinas naturales, y así tiene lugar la formación de potentes capas de sales comunes, potásicas y yesos que se explotan en diversas regiones de Europa central. También se caracteriza la época permiana por intensa y extensa actividad mecánica de los magmas, que, liberados por la descompresión herciniana, vierten al exterior por grietas y fracturas.

Era Secundaria.

Así vamos a entrar en la Era Secundaria, que se ha dividido en tres períodos: Triásico, Jurásico y Cretáceo. Esta época va a ser testigo de la destrucción de la Cordillera Herciniana; del transporte de sus sedimentos a los fondos de los mares, y lagos, sobre todo del gran mar mediterráneo, o de Thetys, que bordeando las cordilleras hercinianas se extiende entre los macizos nórdico de Angara y meridionales de Gondwana. En ella predominan los fenómenos de sedimentación, los lentos y basculares movimientos de descenso y ascenso de extensas zonas, acompañados de amplias transgresiones y regresiones, las más importantes de que es testigo el Globo. No se extingue por completo la energía creadora de montañas, y se forman pliegues, pero ni son muy intensos, ni tienen alcance tan universal.

Triás y sus pisos típicos.

El nombre de Triás o Triásico que recibió el primer período secundario tiene su origen en que en muchas zonas del Globo la primera época secundaria da origen a tres series de sedimentos de características muy fijas y distintas.

En extensas zonas de la superficie terráquea persiste un

ERA	Duración en millones de años	SISTEMA	Edad en millones de años	PISO	FASES DE PLEGAMIENTO (Sólo las más importantes)	Epoocas de plegamiento
Secundario o Mesozoico	55	Cretáceo..	60	Neocretáceo	Danés-Garumnense.	Larámicos.
					Maestrichtense. Campaniense. Santoniense. Coniaciense. Turonense Cenomanense.	
	60	Jurásico..	115	Eocretáceo	Albense. Aptense. Bargemense. Neocomiense-Wealdense.	Austricos.
					60	Jurásico..
	60	Jurásico..	115	Oolita		
60					Jurásico..	115
	55	Triásico.....	175			
			230			

régimen parecido al del Permiano. Extensos mares y lagunas interiores reciben sedimentos hercinianos. El régimen desértico se prolonga y continúa la aportación de arenas con restos vegetales, muy escasos, que dan lugar a las rojas areniscas del Buntsandstein, primer y más antiguo tramo del Triás. Una invasión marina, episódica, fugaz, da lugar al depósito de calizas, que son oscuras y fétidas por formarse en aguas pobladas de seres vivientes, muy cargadas de materia orgánica. Se caracterizan estas calizas, con frecuencia, por estar dispuestas en capas muy finas y regulares, casi hojosas, así como por fósiles, conchas y caracoles, cuyas huellas quedan impresas en grandes cantidades en la superficie de las capas. Son las calizas del Muschelkalk segunda división del período triásico. Movimientos ascensionales, o una retirada general de los mares, aísla de nuevo lagunas y mares interiores. El clima, siempre seco y desértico, las deseca con rapidez. Se forman depósitos de sales y yesos, concentración de las que llevan las aguas en disolución y las sucias aguas depositan abundantes arcillas, a las que el clima desértico requema, calcina y oxida, dando brillantes colores: vivos tonos rojos, violáceos y verdes. Son las sales, yesos y abigarradas arcillas del Keuper. En otras regiones las invasiones marinas son más persistentes y más gruesos sus sedimentos que alternan más frecuentemente con los de tipo lacustre y salino; ocurre esto, por ejemplo, en las zonas donde mucho más tarde surgían los Alpes, y, por eso, se demoninan facies *alpinas*. Predominan en España las primeras, denominadas *germánicas*, con sus tres característicos pisos, pero tampoco faltan las segundas, sobre todo, en la parte más oriental de la Península.

Brillante desarrollo de los seres vivos.

Es muy importante el grado de evolución que experi-

mentan los seres vivos con la aparición y adición a la lista de seres preexistentes de grupos muy importantes. Los reptiles continúan su monstruoso desarrollo y presentan seres de horripilante aspecto, como los *Ichtyosaurios*. Nada menos que los primeros mamíferos hacen su aparición en esta época. Los *Ammonites*, esas bonitas conchas que tienen sus antecesores en los *Nautilus*, se enriquecen con bellos y complicados adornos. Elegantes lirios de mar alzan sus esbeltos tallos y sus vistosos cálices de purpúreos y violáceos colores en las praderas submarinas, pero éstas son imágenes retóricas que no deben hacernos olvidar que no se trata de vegetales, sino animales, parientes lejanos de los erizos de mar. Variedad de conchas y caracoles pululan por los fondos costeros, y es, en fin, una vida rica, potente y brillante, en desarrollo cada vez más pujante.

Comienza el largo período de sedimentación del Secundario.

El mar vuelve pronto por sus derechos, y comienza lento, pero seguro, a reconquistar sus dominios perdidos. No sólo los fondos de los mares, hundiéndose lenta y gradualmente bajo su peso, van a cargarse de sedimentos que continuamente bajan de las cordilleras hercinianas, cuya altura y relieve disminuyen progresivamente, sino que zonas antes continentales, márgenes de continentes y cratones arcaicos sumergidos, van a hundirse también lentamente recibiendo siempre sedimentos. Sigue emergido el macizo galaico-castellano, pero al E. y al N., el mar invade los fragmentos desgajados, e incluso sus zonas marginales más someras. Ininterrumpidamente reciben sedimentos arenosos, pero, sobre todo, calizas y margas durante los tiempos jurásicos, cuyas rocas se extienden hoy en día desde Asturias y Santander, por los Pirineos, por Aragón, Levante y Andalucía.

El Jurásico.

Dan por terminada los geólogos la etapa triásica, y co-

menzada la jurásica, cuando empieza esta invasión de los mares. Toda su duración es testigo de una sedimentación marina persistente y predominante, si bien durante la última época se verifica una retirada gradual de los mares. Pero aun en las zonas abandonadas la sedimentación es preponderante. Continúan acumulándose los despojos de las tierras firmes, y aun conservando el nivel más alto que el del mar, en inmensas lagunas, los sedimentos siguen amontonándose en estratos de tipo lacustre. Ciertamente durante el Jurásico tienen lugar algunos plegamientos, pero son relativamente débiles, y rara vez llegan a hacer emerger las formaciones, si bien crean discordancias que los registran para siempre.

Las primeras aves.

En esta época el aire empieza a poblarse de aves. Los primeros intentos no son muy vistosos. El pájaro más viejo conocido, el *Archaeopteryx*, mezcla de ave y reptil, más bien infundiría horror a un cazador actual, con su feo y desagradable aspecto, y si bien su escopeta tendría dónde ejercitarse con la abundancia de *Pterosaurios*, *Pterodactylos* y *Dinosaurios*, en el mar, aire y tierra, es muy posible que el pavor de enfrentarse con tan horribles monstruos hiciera temblar su mano y perder la puntería. Era verdadera caza mayor, sólo para ánimos excepcionalmente templados... si entonces hubiera vivido el hombre, que aún tardará muchos millones de años en aparecer sobre la Tierra. Ahora despliegan los *Ammonites*, al máximo, su variedad y belleza de formas, en especies de tan corta vida, que constituyen magníficos fósiles característicos. Los *Belemnites*, fósiles muy útiles y característicos, de forma y tamaños parecidos a los de las caperuzas de las aerodinámicas estilográficas modernas, pero de maciza calcita, dispuesta radialmente en fibras, son restos petrificados de la

armadura interior de unos seres blandos, parientes de las gibias actuales, y desempeñaban en su organismo la misma función que las «plumas» de las gibias.

El régimen lacustre originado por la retirada de los mares al final del Jurásico, persiste en extensas zonas durante el comienzo del Cretáceo, mientras que en los mares continúa ininterrumpidamente la formación de rocas marinas.

El Cretáceo.

Durante la etapa cretácea, última de la gran época secundaria, sigue imperando, en general, el proceso de hundimiento de los fondos marinos, impelidos siempre a ello por la prolongada y larguísima etapa de acumulación de sedimentos, a donde han ido a parar poco a poco los materiales de las cordilleras hercinianas. A mitad de esa época vuelven los mares a recuperar el terreno perdido, y aun a rebasar sus costas antiguas durante la mayor transgresión que ha conocido el Globo. En nuestra zona, incluso la Meseta, el antiguo y viejo macizo galaico-castellano, se ve invadido por los mares que llegan a anegar parcialmente el Guadarrama, convertido entonces en una península o quizás en una isla. Depositán así los mares cretáceos las calizas marinas que hoy vemos sorprendentemente aisladas entre los granitos de la Sierra, por ejemplo, en el valle alto del Lozoya. Pero ya el peso acumulado en los fondos marinos va siendo insostenible. La corteza da muestras de intranquilidad y los preludios de una gran fase de creación de cordilleras se anuncia con plegamientos, débiles aún en algunas regiones, pero muy intensos en otras, como en América, donde surgen ya elementos ingentes de la gran cordillera Andina.

Alcanzando el punto álgido de la transgresión, comienza una retirada de los mares, y, por ello, se reanuda el régimen lacustre, que en muchas zonas impera al terminar

la época cretácea, dando lugar, como en extensas áreas de la futura Península Ibérica, a sedimentos de vivos colores, parecidos a los triásicos, de margas y areniscas rojas, verdes, violetas que encontramos, como límite superior del cretáceo en los sistemas Ibérico, Pirenaico y Cantábrico, y a cuyo conjunto se denomina tramo Garumnense.

Unos diminutos seres unicelulares, parecidos a las lentejas, las *orbitolinas*, nos caracterizan los sedimentos de la parte baja del cretáceo y unas curiosas conchas, afines biológicamente a las almejas, conchas de peregrino, etcétera, pero de formas realmente distintas, los *Hippurites*, los de la parte alta del cretáceo.

Seres no menos monstruosos que los de tiempos jurásicos, los *Brontosaurios*, *Diplodocus*, *Iguanodon*, *Triceratops*, *Ichtyosaurios*, *Plesiosaurios* y otros no menos feos pueblan las tierras y los mares. Pero sus restos son muy raros y poco frecuentes. Útiles para estudiar la evolución de los seres, y curiosos por su misma monstruosidad, no sirven prácticamente de nada al geólogo. En cambio, otros mucho más modestos, la infinita variedad de ostras y conchas de todas clases (*Lamelibranchios*) o de caracoles de infinitos tipos (*Gasterópodos*), de erizos de mar (*Equínidos*), de Ammonites y Belemnites, son utilísimos para la identificación y correlación de sus rocas (margas, calizas y areniscas, sobre todo) y el establecimiento de su edad. Las plantas continúan su evolución y aparecen las primeras angiospermas.

La posición de los polos que algunos dicen variable durante los larguísimos tiempos geológicos va fijándose cerca de su posición actual y la distribución en zonas climáticas, más o menos identificables con las actuales, que comenzó en el Jurásico, se va precisando cada vez más.

No es que el mapa-mundi de entonces se parezca mucho al actual, pero va habiendo ya bastantes coincidencias. Por ejemplo, la mayor parte de las tierras firmes actuales de América, lo eran ya entonces, aunque con perímetros distintos, pero un estrecho mar avanzaba desde Alaska hasta el Mar Caribe. América del Sur era, en su mayor extensión, tierra firme, que se extendía, además, hacia el Oeste. Groenlandia y América estaban soldadas, y constituían una sola tierra firme, junto con las actuales islas de recortados contornos que se extienden al Norte del Círculo Polar.

El escudo escandinavo persistía emergido, y un mar lo separaba del Siberiano, que abarcaba, además, toda la Mongolia, China e India, Indochina y Birmania. El continente Australiano se parecía, relativamente, al actual. Africa Oriental y Meridional formaban un continente emergido y otro más pequeño occidental, separados por un mar mediterráneo. Emergían grandes islas, entre las que se contaban el Macizo galaico-extremeño, el Central francés, algunas cumbres carpáticas y otros restos, más menudos, de las cordilleras hercinianas; entre ellos pequeños retazos en el futuro Pirineo y en Sierra Nevada y el Atlas se extendía entre los cambiantes fragmentos de Angara y Gondwana.

Y va a comenzar la época Terciaria, que, en muchas regiones del Globo, ve completarse los grandes plegamientos iniciados a finales del Cretáceo. Es el primer acto de uno de los más gigantescos dramas orogénicos que ha presenciado la Tierra, o quizás nos lo parece así, porque, siendo el más reciente, sus ingentes cordilleras, sólo parcialmente humilladas por la destrucción, aún alcanzan sus cumbres a millares de metros sobre el nivel actual de los ma-

Era Terciaria. Preludios de los grandes plegamientos alpinos.

ERA	Duración en millones de años	SISTEMA	Edad en millones de años	PISO	FASES DE PLEGAMIENTO (Sólo las más importantes)	Epoocas de plegamiento
Terciario o Cenozoico ..	24.4	Plioceno .....	25	Calabrense. Astiense. Plasenciense.	Rodánicos. Estíricos.	Mes-Alpinos
		Mioceno .....				
	35	Oligoceno .....	25	Aquitaniense. Estampense. Sannoisense.	Sávicos.	Alpinos
		Eoceno .....		Ludense. Bartonense. Auversense. Luteciense. Ypresense. Suesonense.	Pirenáicos.	



res. Con esta primera gran pulsación de los plegamientos que se denominan *Alpinos*, porque entre otros muchos sistemas montañosos dieron lugar a la creación de los Alpes, surgen nada menos que las soberbias Cordilleras Andinas que festonean todo un continente, el Americano, desde la punta de la Tierra de Fuego hasta las extremidades de Alaska, y muchas orgullosas cimas del Himalaya y del Cáucaso. No sólo es eso. Esta inquieta Tierra, que habíamos, había pulsado, con menos intensidad, durante los tiempos jurásicos y cretáceos, con una serie de actos de plegamiento, más locales, menos violentos, en una serie de fases de que se denominan «Paleo-Alpinas».

El Eoceno y el Oligoceno.

En nuestra Península la retirada de los mares que a finales del Cretáceo da origen a las facies continentales de la época garumnense, es seguida de una invasión de los mares, que depositan poderosos sedimentos en las zonas al margen oriental y meridional de la Meseta o macizo creado por los plegamientos hercinianos. Todavía durante el Eoceno, esta época, aurora de los tiempos terciarios, una gran fosa de la que luego van a surgir los Pirineos, sigue recibiendo gruesísimas capas de sedimentos en ininterrumpida actividad. Pero ya a finales del Eoceno, el equilibrio se rompe. Los magmas desplazados levantan por el Este unas cordilleras, las que actualmente constituyen la bella costa catalana, y también, en el centro de la fosa sedimentaria, empiezan a levantarse pliegues, de escaso relieve todavía, pero que ya empiezan a surgir de la superficie de los mares. Entre estos dos sistemas montañosos, que empiezan ahora a dibujarse e insinuarse, se rellena de sedimentos una depresión, la actual cuenca del Ebro. Y, poco a poco, al elevarse las montañas por el Este y por el Norte se rompe su conexión con el mar libre. Y este es un hecho no sin trascendencia actual, porque, concentradas así

urgan los Pirineos.

las aguas de este mar interior, se depositan en su fondo masas de sal, las sales potásicas de Navarra, Aragón y Cataluña. Cerrada la comunicación con el mar, dulcificadas sus aguas por la precipitación de las sales, aisladas las aguas dulces fluviales por la deposición de capas de arcilla impermeables, se convierte esa depresión del Ebro en un lago, a donde llegan abundantes los sedimentos procedentes de la Meseta y de la iniciada destrucción de las recién surgidas montañas, ya que, tan pronto como empiezan a surgir sobre las aguas, se inicia la lucha entre las fuerzas internas, creadoras, y las externas, destructoras. Estos sedimentos formados en el seno de aguas dulces, o dicho de otro modo, de facies lacustre, colman la fosa que luego se denominará del Ebro, a lo largo de una época que se denomina oligocena y es la continuación de la eocena. Pero llega un momento en que las fuerzas que pliegan los sedimentos, nunca en absoluto reposo (localmente han actuado también durante el Oligoceno, incluso con violencia), se desencadenan con amplitud universal, y altísima tensión. Sedimentos que desde finales del Carbonífero hasta finales del Oligoceno, de edades triásica, jurásica, cretácea, eocena y oligocena, han permanecido en los fondos de los mares, se elevan con fuerza incontenible. Los tímidos ensayos de anteriores, y más débiles actos de plegamiento, palidecen ante la escala de los actuales acontecimientos, y los pliegues que entonces apenas surgieron de las superficies de las aguas se convierten en las cimas de los Pirineos, de los Alpes. En la que ya es Península Ibérica, no sólo surge una cordillera que va desde la Bahía de Rosas hasta los Picos de Europa, el sistema Pirenaico-Cantábrico, sino que, adosándose marginalmente al macizo resistente de la Meseta Castellana, surgen las Cordi-

geras Ibéricas, las Levantinas, y, con complicadísimos pliegues, las que bordeando por el S.E. la Meseta se dirigen desde la costa mediterránea hasta la atlántica, las cuales, cerrando en arco sobre Gibraltar, un arco que vuelve su concavidad hacia el Este, enlazan con las cordilleras africanas del Atlas. En el mundo entero, y por pulsaciones que se van sucediendo a lo largo de los tiempos terciarios, se completan las cordilleras alpinas.

Arquitectura de un sistema de plegamientos.

La arquitectura de estos *complejos de plegamiento* puede compararse con el de nuestras viejas y bellas Catedrales. Sobre una ermita humilde se construye una Iglesia románica. Posteriormente se desmantela su techumbre y sobre sus columnas se apoyan las de una gran Catedral gótica, cuyas naves rodean a las de la Iglesia antigua. Más tarde se añade un claustro plateresco y una fachada renacentistas, y diversas capillas barrocas vienen a completar el edificio. En general, el edificio de gran plegamiento, una vez completado, se ha edificado de la misma manera. Las primeras y débiles fases inician suaves plegamientos que indican las futuras directrices generales. La fase principal levanta algunos de estos pliegues, haciendo de ellos complicadísimas e ingentes estructuras. Plegamientos póstumos van añadiendo otros pliegues marginales o rellenan las soluciones de continuidad.

Así es como las cordilleras alpinas, iniciadas ya con las diversas fases *Kimméricas*, durante el Jurásico, consideradas como fases alpinas, reforzadas luego por las *Austricas* durante el Cretáceo inferior; culminadas para el continente americano con las grandes fases *Laramicas* (Cretáceo y Eoceno), con las grandes fases *Pirenaicas* y *Sávicas* (Eoceno y Oligoceno), para las cordilleras pirenaicas alpinas son completadas más tarde con las fases *Esti-*

*ricas, Rodánicas y Waláquicas* (Mioceno y Plioceno), importantes en los sectores alpinos, carpático, caucásico e himaláyico.

Adosadas estas cordilleras a las hercinianas, han ensanchado los macizos considerablemente, y del antiguo y grandioso Thetys no queda sino nuestro pequeño Mediterráneo. Estas cordilleras alpinas se extienden no sólo desde Africa del Norte, con sus cordilleras Atlánticas por España, a través de las Penibéticas, Ibéricas, Cantábricas y Pirenaicas; por Italia y Centro Europa con los Apeninos, los Alpes, los Cárpatos y los Balkanes, sino que pasan a Asia por el Cáucaso y los Himalayas; constituyen el gran Arco Circumpacífico con las cadenas insulares montañosas de la Malasia y la Melanesia, del Japón y Kamschatka, que se encierra con la inmensa cadena que desde Alaska a la Tierra de Fuego, vertebrando todo un continente, para saltar luego a la Antártida.

Otros mecanismos de formación de sistemas plegados.

Debemos exponer ahora ciertas reservas con respecto al mecanismo por medio del cual hemos explicado los plegamientos, el cual está en cierta manera, o en ciertos casos, en contradicción con las leyes de la Mecánica. Hemos aceptado que presiones laterales comprimen fajas de sedimentos cuyas anchuras pueden medir más de 100 kilómetros. Pero un paquete de capas, una vez deformado, es incapaz de transmitir los empujes en su dirección. ¿Cómo admitir, pues, que fajas tan anchas de sedimentos puedan plegarse simultáneamente?

Para explicarlo es preciso recurrir a la actuación de una fuerza que actúe permanentemente en cada punto de la masa, aunque ésta esté ya deformada. Esta fuerza sólo puede ser la de la gravedad. El peso de la masa sedimentaria sigue actuando en cada momento en cada punto de

ella, antes de originarse la deformación y durante ella. Para que la gravedad tenga una resultante eficaz es preciso que toda la masa sedimentaria que va a experimentar plegamiento sea levantada en bloque y desigualmente. Entonces, y merced al desnivel creado, siempre que éste sea suficiente, la fuerza de la gravedad, si basta para vencer las resistencias de arranque y rozamiento, obligará a los acumulados estratos a deslizarse, desplazándose en masa, hasta que al tropezar con un obstáculo, un macizo resistente, se plieguen por la inercia. Efecto que se consigue igualmente si por un incremento del rozamiento o agotamiento del desnivel son frenados por sus rozamientos de arrastre.

El mecanismo completo se concibe así: Conjunciones astrales, pueden originar y originan mareas periódicas en el magma plástico, ocasionando acumulaciones o *geotumores*, que elevan sobre su nivel normal los sedimentos que sustentan.

La fuerza de la gravedad, merced a la inclinación de los bordes de estos geotumores, obligan a deslizarse ingentes espesores de sedimentos, que se desplazan deslizándose sobre aquellos niveles más plásticos (arcillas del Keuper, por ejemplo) que no son raros en las series estratigráficas secundarias y terciarias y que actúan como verdaderos lubricantes de la base de la masa, facilitando el desplazamiento.

Estos desplazamientos pueden alcanzar cientos de kilómetros de distancia al punto de partida, donde queda la *raíz* de la Cordillera.

Los sedimentos, al desplazarse en masa en estos gigantes *corrimientos*, trituran las formaciones sobre las que pasan, con frecuencia más modernas, originando rocas peculiares constituídas por fragmentos destrozados y mez-

clados de las rocas arrastradas y de las del piso sobre que se arrastran y que se llaman *milonitas*.

Unas veces se pliegan durante la marcha al tropezar con obstáculos o ser frenadas desigualmente por su base. Otras, al chocar con un obstáculo y detenerse. Generalmente se suman los dos efectos.

Cuando se detienen están replegadas, en forma casi increíble, dando lugar a estructuras complicadísimas en que unas *escamas* o elementos de la masa se superponen a otras mediante superficies denominadas de *cabalgamiento* o *co-bijadura*.

Al mismo tiempo levantan y repliegan las formaciones y series sedimentarias, estáticas, contra las que se estrellan y a menudo también aquellas sobre las que pasan.

Se embuten unos pliegues en otros, se amontonan y luego, tallados por la erosión, dan lugar al fantástico relieve de las cordilleras alpinas de complejísima estructura.

Los Alpes son magnífico ejemplo de este tipo de sistemas de plegamiento. Se ha comprobado la identidad y antigua continuidad de sus series estratigráficas con sus *raíces* situadas muy lejos. Hay huellas de su paso en las *milonitas* presentes en los espacios intermedios.

Por otra parte esta relación de los fenómenos orogénicos con conjunciones astrales, profusamente periódicas, explicaría la periodicidad de su aparición que se refleja en toda clase de fenómenos orogénicos y biológicos, y que es ahora el tema predilecto de los geólogos que tratan y se ingenian para demostrarla.

De esta manera, y a lo largo de los tiempos terciarios, se va completando la figura actual de nuestra Tierra con sus mares y contingentes; cierto que los contornos no son idénticos porque cualquier elevación o descenso del nivel

de los mares, aun en muy pequeña escala, los hace variar en manera tan considerable que sorprende, y ha habido desde entonces varios de estos movimientos, pero un mapa-mundi de las tierras, a partir del final del Mioceno, nos sería muy familiar y podríamos identificar sin dificultad las regiones geográficas que conocemos actualmente.

El Mioceno y el Plioceno.

El Mioceno y el Plioceno son las dos últimas divisiones del Terciario. En España, los sedimentos de estas clases están en general casi completamente horizontales. Son épocas de tranquilidad orogénica, pero de gran actividad erosiva. Las recién creadas cordilleras y las viejas raíces hercynianas rejuvenecidas, con su poderoso relieve e inclinadas laderas, son presa de una activa destrucción y sus detritus colman las llanuras de pie de monte de sedimentos tendidos, que, tallados por la erosión cuaternaria, darán luego lugar a las muelas y páramos de Castilla y de la Alcarria, en facies terrígena y lagunar.

Por el contrario, en las costas levantinas y meridionales los mares se adentraban bastante más que las líneas actuales de costa, dando lugar a sedimentos miocenos de facies marina situados hoy bastante alejados de aquéllas, y que cuando tienen ese carácter se presentan más o menos plegados, a veces, con bastante violencia, a diferencia de los depósitos de las mismas edades del interior, de origen lacustre o continental, que yacen en perfecta horizontalidad o muy ligeramente desviados de esa posición. En el futuro valle del Guadalquivir existía durante el Mioceno un golfo donde se depositaron sedimentos marinos.

Las descompresiones postalpinas originan hundimientos de tierras emergidas; varios de estos elementos hundidos dan origen a los típicos *arcos mediterráneos* de que son ejemplo las amplias bahías que quedan entre los salien-

tes cabos levantinos. Y como siempre que hay descompresión, se originan las fracturas consiguientes, y se liberan por ellas los magmas que vertiendo al exterior en forma volcánica. De estas erupciones tenemos en España dos magníficos y bellos ejemplos: las regiones volcánicas de Olot, en Gerona, y la de Ciudad Real, que iniciadas ya quizás durante el Plioceno se complementan durante la siguiente etapa, el Cuaternario, o época actual.

Y ¿qué ocurre con la Vida durante estos tiempos terciarios? Desaparecen los espantosos *Dinosaurios* gigantes que tanto pavor nos hubieran infundido, de haberlos podido ver, en los tiempos Cretáceos. En general, todos los tipos de vida, más cercanos a la etapa actual de la evolución, son de aspecto familiar y hacen su aparición importantes grupos que aún faltaban en el árbol genealógico de la Vida. Los mamíferos placentarios empiezan a adquirir desarrollo que pronto culmina en magnífico florecimiento y predominio. Las plantas con flores alegran con sus mil colores las primaveras terciarias. Los *primates*, antecesores de los monos, aparecen durante las primeras épocas del Terciario, así como los cetáceos. En las últimas épocas terciarias los modernos carnívoros y los animales ungulados, como los cérvidos y équidos, y aún tenemos animales de imponente aspecto como los *mastodontes*, pero más por su tamaño que por sus formas estrambóticas.

De la vida pequeña, unos seres sencillos constituidos por un solo tipo de célula, los *Nummulites*, dejan durante el Eoceno sus redondos caparzones calizos, arrollados en espiral, para que sea fácil identificar esos terrenos. Y una infinidad de tipos de conchas y caracoles, cada vez más parecidos a los actuales, hasta que ya durante el Mioceno y

el Plioceno empiezan a hacer su aparición muchas de las especies actuales o muy poco diferentes.

El Cuaternario  
y las glaciaciones.

Una invasión de los hielos, un enorme avance hacia los trópicos de los casquetes polares, cubre media Europa y otras muchas zonas marinas y continentales de una espesa capa de hielo, parecida a la que hoy cubre todavía Groenlandia, la Antártida y muchas zonas marinas de los casquetes polares. Este acontecimiento se toma como referencia para dar por terminados los tiempos terciarios y comenzados los cuaternarios.

Hasta cuatro de estas grandes *glaciaciones* se conocen en la primera época cuaternaria, seguidas de retiradas graduales y parciales de los hielos hacia los casquetes polares. Son los cuatro grandes máximos de un mecanismo pulsatorio en que se suceden alternativamente los avances y los retrocesos.

Los hielos, empujados por las nuevas masas, avanzan lentamente, como avanza el frente de un glaciar de montaña, y como éste deja huella indeleble de su paso, porque los cantos engastados en el hielo de la base, pulen y alisan la superficie de las rocas sobre las que avanza la masa glacial, al mismo tiempo que deja grabadas en ella estrías inconfundibles. Pero, además, arrastra en su frente, por delante de él las masas de bloques sueltos y que arranca del piso, empujándolos y amontonándolos en arqueadas masas que se conocen con el nombre de *morrenas*, las cuales al retroceder el helero quedan abandonadas por delante, y así se llega a conocer el máximo avance de los hielos, así como las pulsaciones o alternativas de avances y retrocesos más cortos, experimentados durante su regresión. Los depósitos correspondientes a esta época se conocen con el nombre de *diluviales*, porque la segunda fusión de los hie-

los, originada por elevaciones generales de la temperatura, ocasionó diluvios que dieron lugar a fuertes erosiones y sus consiguientes sedimentaciones, como es natural, de carácter continental y naturaleza muy detrítica. Y Diluvial se denomina esta primera época del Cuaternario.

El Homo sapiens.

Con el último diluvio la Historia entra en la etapa Actual o Aluvial. El hombre ha aparecido durante la época Diluvial. ¿Fué objeto de creación especial, acto expresa de la Voluntad Divina? ¿O había dispuesto Ella en su soberbio esquema del Universo, que en un momento de la evolución surgiera un organismo, al que con su Divino Sopllo infudió un alma? Lo cierto es que una lenta evolución de razas de homínidos da lugar al *Homo sapiens*, creador, por etapas sucesivas, de la civilización actual.

Con la aparición del hombre, la Geología y la Historia se enlazan y tienden un puente, el de la Prehistoria, en cuyo medio se dan la mano el geólogo y el historiador.

Como queríamos hablar de Geología, mas no de Prehistoria, damos por terminada esta novela de la Tierra. ¿Será quizá la energía atómica la que vendrá a animar su final, con una horrisona desintegración provocada por la soberbia humana?



**LAS INVESTIGACIONES DE PETROLEO  
EN ESPAÑA**

**POR**

**J. M. RIOS**

**Ingeniero de Minas**

J. M. RIOS  
Ingeniero de Minas

## LAS INVESTIGACIONES DE PETROLEO EN ESPAÑA

La investigación de petróleo en España data de la misma época que en los demás países, porque en seguida de iniciarse la explotación en los EE. UU. de América, hacia 1860, empezaron aquí a buscarse los indicios petrolíferos, y se hicieron, con mayor o menor sentido, las primeras demarcaciones. Puede dividirse esa exploración en tres etapas. La primera, desde 1860 hasta 1918; la segunda, desde 1918 hasta 1939, y la tercera, empezada entonces, y que dura hasta la actualidad. La primera se caracteriza por la improvisación; la segunda, por la intervención de los organismos estatales en la investigación; la tercera, por el ordenamiento de las exploraciones y el empleo de métodos e instrumentos más eficaces. Antes, sin embargo, de ocuparnos en la descripción de estas etapas, conviene dar un ligerísimo esquema de la constitución geológica de la Península Ibérica.

### *Constitución geológica de la Península.*

Salvando los detalles de excepción, y expresando sólo las líneas geológicas más generales, podemos decir que la

Península Ibérica está constituida por dos grandes unidades estructurales. Por una parte el macizo de emersión herciniana que constituye las regiones Noroeste, Norte, Centro y Sudoeste de la Península, y que, en parte, está recubierto por formaciones terciarias modernas, en disposición horizontal. En él afloran formaciones y granitos arcaicos, formaciones paleozoicas y granitos de intrusión herciniana, y, en general, se presentan muy violentamente plegadas. Descartadas, por su propia naturaleza, las extensas zonas de rocas hipogénicas, también las paleozoicas se consideran estériles como formaciones petrolíferas, por su violenta deformación tectónica, poco apropiada para permitir la constitución de depósitos petrolíferos, aunque existen algunas zonas interesantes de pizarras bituminosas, sobre todo en el hulle-ro. Por las razones dichas se excluye, por ahora, sistemáticamente toda esa zona de la Península de las investigaciones petrolíferas. El resto de aquella, o sea, el Norte, Noreste, Levante y Sur, es donde marginalmente se han adosado al macizo arcaico-paleozoico las diversas cordilleras de plegamiento alpino, surgidas principalmente en la época oligocena. Esa gran unidad se puede considerar dividida en dos subelementos: la depresión del Ebro, con sus cordilleras marginales y las cordilleras meridionales, que desde el Mediterráneo cruzan en dirección Sudoeste hacia el Atlántico.

En este elemento estructural, originado y regido por la orogenia alpina, es donde se considera posible la existencia de depósitos petrolíferos, y al que se restringen las investigaciones. De los dos subelementos que lo constituyen, el primero está limitado por los Pirineos, las Cordilleras Ibéricas y la Cordillera Costera Catalana. Sus deformaciones tectónicas son, en general, violentas, pero no excesivamente; su violencia se atenúa, y extingue, hacia la depresión

del Ebro. El segundo subelemento, el de las cordilleras meridionales, se caracteriza por una violentísima tectónica, y quizás por masas alóctonas o para-autóctonas, que ocasionan, en muchas de sus zonas, verdadero mosaico de formaciones.

#### *Indicios petrolíferos.*

Los indicios petrolíferos son abundantes en las regiones de plegamiento alpino, y se distribuyen, por todas ellas, con repartición muy amplia y general. Son conocidos de antiguo, y no son muchos los nuevos datos que han suministrado las últimas investigaciones. De índole muy heterogénea varían desde escapes de gases hasta impregnaciones asfálticas, pasando por hidrocarburos flúidos, de colores ambarinos, o más densos y oscuros, o bien, por manchas aceitosas en manantiales y arroyos. Pueden presentarse en las más variadas formaciones y se los conoce en el triás, en el jurásico (liásico), en el cretáceo inferior donde son muy abundantes, siéndolo menos en el superior; en el eoceno y en el mioceno.

En general, las manifestaciones son de carácter secundario y tienden a presentarse en los planos de fractura o en cavidades próximas a ellos.

En cuanto a su localización, la más frecuente es en las zonas fracturadas, de tránsito de deformaciones tectónicas suaves o medianamente violentas, a las de tectónica más violenta. Pero el detalle más significativo es el siguiente: Mientras que muchas de esas manifestaciones se encuentran en el triás (muschelkalk, keuper o carniolas), la inmensa mayoría de las que se presentan en otras formaciones de una manera o de otra parecen ligadas a la existencia de afloramientos triásicos, sobre a todo los de carácter tec-



tónico violento: diapírico. Sin que pueda demostrarse, en cada caso, relación inmediata entre aquellas manifestaciones petrolíferas y los afloramientos triásicos cercanos, nunca se puede escapar a la sugestión de que ambos fenómenos han de estar ligados de alguna manera.

#### *Regiones petrolíferas.*

Dado que los indicios petrolíferos más importantes, y aún la mayoría de ellos, son conocidos de antiguo, desde los primeros tiempos de la investigación geológica, se ha ido concretando la atención en algunas zonas que se consideran posiblemente petrolíferas, tanto por su tectónica apropiada, como por la abundancia de manifestaciones.

Podemos agruparlas de este modo:

#### 1.º DEPRESIÓN DEL EBRO Y SUS CADENAS LIMÍTROFES.

a) En las Cordilleras Cantábricas que bordean el Golfo de Vizcaya, tanto el triás como el cretáceo inferior presentan manifestaciones petrolíferas; algunas muy ricas e interesantes. Están comprendidas en las provincias de Santander, Vizcaya, Alava y Burgos, principalmente. Existen allí chimeneas salinas constituídas por materiales del keuper (salt-domes), acompañados de indicios petrolíferos, y una de ellas, que se explota por sondeos para la producción de sal por disolución (Polanco, Santander) dió una corta cantidad de petróleo viscoso color pardo oscuro (4 a 5 metros cúbicos a 530 metros de profundidad). Otra está rodeada de formaciones cretáceas y eocenas (Maeztu, Alava), impregnadas de asfalto, que constituyen la mina que en mayor cantidad produce este producto en España, por no citar más que las manifestaciones más importantes que de este tipo existen en dicha zona.

Por otra parte, el cretáceo inferior, de facies wealdense, presenta con distribución superficial muy grande, abundantes impregnaciones de asfaltos o de hidrocarburos más flúidos, en las capas arenosas. Estas manifestaciones son especialmente interesantes en la región del Puerto del Escudo (Santander) y del Valle de Zamanzas (Burgos), y existen en otros muchos lugares.

b) En las faldas meridionales de los Pirineos se conocen diversas manifestaciones petrolíferas, desde el Oeste (aceites de Aoiz en Navarra), hasta el Este (impregnaciones de asfalto de Oix, Gerona y otras). Hay entre medio otras muchas manifestaciones petrolíferas (escapes de gas en la región de Campo, Huesca, impregnaciones asfálticas en Boixols y Pedrá, en Lérida, etc.). Se encuentran sobre todo en el cretáceo inferior (calizas y margas aptenses), en el cretáceo superior (senonense) y en el eoceno (calizas y margas lutecienses), pero casi siempre en las proximidades de algún floramiento triásico (keuper), aparte de que abundan las calizas fértidas en varios tramos.

c) En la Cordillera Ibérica, y sobre todo en la región de Soria, donde, cerca de la capital, existen las manifestaciones asfálticas de Fuentetoba, en la Sierra de Pico Frenes, impregnando areniscas del cretáceo inferior alto de facies continental, aunque no faltan otros indicios, menos interesantes.

#### 2.º CORDILLERAS MERIDIONALES.

Existen allí también muy interesantes manifestaciones petrolíferas, desde las ricas impregnaciones asfálticas en Castell de Castells (Alicante), y escapes de gases de Torre vieja, hasta los bellos hidrocarburos ambarinos de Bornos y de Villamartín (Cádiz), además de otras varias localida-

des intermedias. Las posibles regiones petrolíferas de esta región se polarizan, por ahora, alrededor de las dos manifestaciones más importantes: o sea en la provincia de Alicante, y en la de Cádiz y zonas limítrofes de la de Sevilla.

#### *Condiciones estratigráficas y tectónicas.*

##### 1.º DEPRESIÓN DEL EBRO Y CADENAS CIRCUNDANTES.

a) En las Cordilleras Cantábricas suelen existir, sobre el keuper, el liás y el jurásico más o menos completos, el cretáceo inferior de facies continentales y cuñas marinas, y el superior con facies marinas, ambos con espesores ingentes. Por encima puede haber formaciones terciarias, menos interesantes, salvo en las cercanías de los diapiros. La deformación tectónica varía entre la suave y la medianamente violenta. El entrecruzamiento de directrices origina un cuadro complicado de pliegues, pero suministra bastantes estructuras cerradas. Descontados muchos pliegues-falla, o cortados por fallas, cuyo interés estará subordinado en su día al resultado de las investigaciones en otros más enteros, queda no obstante, una serie de estructuras anticlinales, más o menos amplias y tendidas, pero de cierres periclinales, cupuliformes, que son de gran interés. Además existe allí una serie de chimeneas salinas (salt-domes), que algún día habrán de tenerse en cuenta.

b) En las regiones pirenaicas, las directrices tectónicas son más uniformes, y prescindiendo de la zona axil, de tectónica muy violenta, y de las zonas marginales, con pliegues falla, cabalgantes sobre la depresión, existe una zona intermedia donde hay algunas, no muchas, estructuras apropiadas. La constitución estratigráfica es mucho más variable. Sobre el triás germánico vienen, en general, el

liás y el cretáceo inferior marino, aunque estas formaciones faltan por completo en el sector central (provincia de Huesca y parte de Navarra). El cretáceo superior, y el eoceno, con facies predominantes marinas y espesores muy grandes, en general, y el oligoceno con facies continental, completan la serie estratigráfica.

c) En las Cordilleras Ibéricas, la constitución estratigráfica es muy uniforme; sobre el triás germánico vienen capas liásicas y jurásicas, un cretáceo inferior de facies continental y espesores considerables con algunas cuñas marinas, un cretáceo superior constituido por un tramo marcoso (cenomanense) y otro calizo (turonense-senonense), mucho más potente, y un eogeno (eoceno-oligoceno) de facies continental, más o menos recubierto por un mioceno discordante y horizontal. La tectónica varía entre suave y medianamente violenta, y ha originado bonita y abundante colección de estructuras.

d) La depresión del Ebro, propiamente dicha, está rellena por el oligoceno continental, parcialmente recubierto por formaciones miocenas del mismo carácter. El oligoceno yace subhorizontal en el centro de la depresión y plegado en los bordes. Debajo debe de existir un eoceno, cuyas facies cambian de NE. a SO., de marina a continental, y cuya línea de costa, oculta a la observación bajo los sedimentos posteriores, presta interés a sus posibilidades petrolíferas. Aun por debajo existen un cretáceo superior marino, y un eocretáceo también en tránsito de facies marina a continental. Inferiormente colocados están el jurásico y el triásico de facies análogas a las pirenaicas e ibéricas. Es probable que el conjunto secundario, o el secundario-eoceno presente pliegues u ondulaciones suaves bajo el oligoceno tendido, pero situadas a profundidades considerables.

## 2.º CORDILLERAS MERIDIONALES.

En ellas la serie estratigráfica es más variada y se compone de triás germánico, jurásico, cretáceo, eoceno y sahelense; todos ellos predominantemente marinos. La tectónica, en general, ha originado deformaciones muy violentas con arrastres y laminaciones abundantes, que dan origen en muchas zonas, entre ellas las que se consideran probablemente petrolíferas, a un verdadero mosaico de formaciones y retazos de formaciones.

*Valoración de estas regiones.*

## 1.º DEPRESIÓN DEL EBRO Y CADENAS CIRCUNDANTES.

a) *Cordilleras Cantábricas.*

Las Cordilleras Cantábricas son quizás las que ofrecen mayor interés, sobre todo, en su sector meridional; no sólo por la mayor profusión de sus manifestaciones petrolíferas, sino por sus condiciones estratigráficas y tectónicas. No faltan allí las bellas estructuras cupuliformes de área y forma apropiadas para contener grandes cantidades de aceites minerales. El cretáceo inferior presenta abundantes bancos de areniscas, pero quizá se espera aún más del lías, y sobre todo de las carniolas del rético, verdaderas esponjas que pueden constituir un nivel continuo y permanente.

La facies weald presenta suficientes y gruesas capas arcillosas como para suministrar buena cobertura. La zona meridional de las Cordilleras Cantábricas es más precisa y ordenada en sus directrices y características tectónicas que

la nórdica, por lo que la investigación de aquélla atrae con superior interés.

El espesor del cretáceo inferior es, en general, superior a 1.000 metros y puede ser mucho mayor, pero las estructuras, con frecuencia, han sido denudadas a nivel ya bajo, lo que facilita su exploración. No obstante se consideran necesarias sondas de más de 2.500 metros para una investigación racional.

Las chimeneas salinas se han estimado de escaso interés por mostrar su núcleo salino al descubierto, pero, aparte de que este hecho no es por sí sólo decisivo para juzgarlas improductivas, pudiera haber otras cubiertas y aún no localizadas.

b) *Región pirenaica.*

Las estructuras completas y cerradas no son muy abundantes; la mayor parte de ellas cierran en formaciones eocenas, y, dados los enormes espesores de estas formaciones y de las cretáceas, se han de prever profundidades muy grandes, e igualmente lo son, por consiguiente, los riesgos y gastos de la explotación. No son aconsejables sondas de menos de 2.500 metros y, en cambio, muy deseables los que puedan alcanzar los 3.000, o mejor los 4.000 metros.

c) *Región ibérica.*

Estratigráficamente es muy interesante por ofrecer las calizas porosas del rético, y abundantes areniscas en el cretáceo inferior, a más de una cobertura ideal constituida por las margas cenomanenses y las protectoras calizas del senonense. Tectónicamente es asimismo, muy apropiada, con

pliegues cupuliformes bonitos y abundantes. Los espesores, aunque grandes, no son excesivos, y los sondeos de 2.500 metros pueden explorar cumplidamente las estructuras conocidas hasta ahora.

Es verosímil que éstas se extiendan bajo el mioceno horizontal discordante que las rodea, y que alcancen extensión mayor que la visible, y que, además, existan otras muchas no aflorantes. Si esta región resultase productiva, su interés se haría extensivo a amplísima zona en Castilla, donde las posibles estructuras, sumergidas bajo el mioceno, habrían de localizarse por procedimientos geofísicos. Entonces habría que trabajar, con toda probabilidad, con sondas de gran alcance.

#### d) *Depresión del Ebro.*

En esta gran zona, que parece debiera tener interés por estar rodeada de regiones consideradas como posiblemente petrolíferas, los espesores oligocenos son muy grandes y pueden llegar a los 3.000 metros que habría que sumar, en una investigación, a los de las restantes formaciones. Es el motivo por el que esa extensa región tiene un valor muy problemático, aunque los anticlinales oligocenos marginales nos acercan al fondo de la formación. No obstante la existencia en profundidad de las dos líneas de costa mencionada antes, así como los probables, o al menos, posibles pliegues en las formaciones secundarias-eocenas, prestan interés a esta zona, además, de tan gran extensión. Sondas del máximo alcance posible serían necesarias para su investigación.

## 2.º CORDILLERAS MERIDIONALES.

Las condiciones tectónicas son allí muy poco favorables, por su violencia. Además la estructura en mosaico y otras circunstancias, como la abundancia de cultivos, hacen difícil una investigación sistemática, al menos, en extensas zonas, y, en general, los sondeos han de localizarse más bien al azar, que mediante una verdadera investigación. No obstante hay alguna posibilidad: sobre el conjunto mesozoico-eoceno, muy violentamente plegado, existe una cobertura discordante miocena-saheliense, cuyos pliegues, más sencillos ofrecen, a veces, bellas estructuras. Es posible que algunas de ellas hayan recogido y almacenado los hidrocarburos escapados del atormentado yacente. Es a ellas a las que se limitan, principalmente, las investigaciones. En todo caso, los resultados, allí, han de fiarse, como dijimos, más al azar que a la investigación sistemática.

### *La investigación de petróleo en España.*

Aunque, en relación con las actividades de otros países es muy pobre la aquí realizada, y ello es en parte debido a la falta de éxito o de suerte en las tentativas iniciales, no ha sido tampoco nula, aunque, en general, mal encauzada o hecha por aficionados.

La primera etapa se caracteriza por la acción esporádica.

A raíz del rapidísimo desarrollo de la industria petrolera en EE. UU. de América, seguida inmediatamente por otros muchos países más activos, pero también más afortunados, individuos y sociedades de poca potencia económica se lanzan en España a la investigación de manifestaciones petrolíferas, logrando la localización de la mayor parte de las actualmente conocidas. Los sondeos, hechos con pobres

medios, se realizan sin estudios previos, en la mayor parte de los casos, e insuficientes en los menos, y siempre junto a los indicios petrolíferos.

Estos sondeos no suelen rebasar los 700 metros y, en general, fracasan totalmente, o cortan capas con gases o con hidrocarburos líquidos, pero de producción escasa o nula, que no se mantiene. Los fracasos hacen cundir el desánimo y se apaga la fiebre primera de investigación.

Durante la primera guerra europea, y como consecuencia de la escasez de combustibles y lubricantes, se desarrolla otra vez la actividad.

Pero es, sobre todo, transcurrida aquélla cuando se constituyen diversas compañías con capitales extranjeros y nacionales, asesoradas casi siempre por mineros y geólogos extranjeros, y se demarcan extensas zonas. Se practican entonces varios sondeos, algunos de ellos muy bien situados, pero, de nuevo no acompañó la fortuna y no se obtuvo ninguna producción sostenida.

Hacia 1920, en vista de esta actividad, el Estado se interesa, a través del Instituto Geológico, en esas investigaciones. Varios de sus geólogos visitan los países de mayor producción petrolífera, y a su regreso estudian las regiones españolas consideradas como interesantes a este respecto. El Estado, acertadamente asesorado por ellos, pero con deficientes medios, ejecuta por su cuenta varios sondeos. Más tarde, al crearse el Monopolio, en 1927, éste contrae la obligación de realizar investigaciones, y el Estado, al traspasarle esta función, se desentiende de ella.

Por otra parte, y como consecuencia, las sociedades privadas se retraen de momento y algunos sondeos son ejecutados al azar por particulares, sin asesoramiento técnico especializado y con insuficientes estudios.

Poco antes de la Guerra de Liberación, se empieza a notar renovado interés por la investigación petrolífera, que pronto interrumpe aquélla casi por completo.

Hasta entonces se habían practicado en total poco más de 19 sondeos, entre los realizados por el Estado y los llevados a cabo por compañías y particulares. De ellos, tres rebasan los 1.000 metros, y uno, llegó a los 1.660 metros (Gastiain, Navarra). La mayor parte se detuvieron al llegar a los 500-700 metros. Nueve de los sondeos practicados cortaron hidrocarburos líquidos o gaseosos, pero ninguno logró mantener una producción.

Durante la Guerra de Liberación se iniciaron tres sondeos, interrumpidos por las incidencias de aquélla; uno de ellos fué continuado después de terminar la guerra, hasta llegar a más de 1.700 metros de profundidad (Tresp, Lérida), con indicios apenas positivos, pues sólo al mismo final se cortaron unos residuos asfálticos.

A partir de 1939 la investigación se reorganiza e intensifica. Se constituye una sociedad de investigación y explotación de petróleo (CIEPSA), con el apoyo económico de una compañía española (CEPSA) y de VACUUM OIL ESPAÑOLA, que lleva a cabo intensa campaña sistemática de investigación, con geólogos norteamericanos y españoles. Por otra parte, la Compañía concesionaria del Monopolio (C. A. M. P. S. A.), reanuda con intensidad sus investigaciones, con varios equipos de geólogos españoles y abundantes medios. Más tarde, el Estado, a través del Instituto Geológico y de una Sociedad Estatal, emprende a su vez gran campaña de investigación, también con geólogos españoles.

Así, pues, desde 1939 se está llevando a cabo una intensa exploración geológica de la Península, que ha dado

como resultado el descubrimiento de nuevas estructuras y el estudio detallado de muchas de ellas. Se han hecho extensas reservas, y el interés ha quedado fijo en las regiones ya clásicas de la manera siguiente: C. I. E. P. S. A. ha hecho demarcaciones importantes en la región Pirenaica (Lérida, Huesca y Navarra), en la Ibérica (Soria) y en la de las Cordilleras Meridionales (Murcia y Alicante). La C. A. M. P. S. A. ha concentrado su interés, sobre todo, en la región cantábrica (Burgos), donde posee una extensísima reserva, y también en la Ibérica (Soria) y en la Pirenaica (Huesca y Lérida). El Estado ha estudiado diversas regiones, y sus Sociedades han investigado, sobre todo, en la Cordillera Pirenaica (Lérida y Huesca) y en las Cordilleras Meridionales (Cádiz y Sevilla).

Todas estas investigaciones están actualmente en plena marcha.

La dificultad principal estriba en la escasez de material de sondeo. Mientras que existen muchas reservas, con sus correspondientes estudios geológicos, sólo dos sondas eficaces y modernas, capaces de alcanzar los 2.500 metros, existen actualmente en España: una de ellas la posee la C. I. E. P. S. A. y trabaja actualmente en Osma (Soria). La otra, adquirida por C. A. M. P. S. A. y de tipo muy parecido, está montándose en la actualidad en Zamanzas (Burgos). Ambas han sido compradas en los EE. UU. de América. Muchas más harían falta, pero la escasez de divisas imposibilita, por ahora, su adquisición. Funcionan otras sondas, y la C. A. M. P. S. A. ha sondeado ininterrumpidamente desde 1940, pero son antiguas y solamente apropiadas para investigaciones poco profundas. Su lentitud de funcionamiento, y frecuentes averías y paradas, ocasionan un rendimiento muy pequeño, pero, no obstante, se han

obtenido con ellas datos de suma importancia sobre los diversos niveles estratigráficos.

Otras compañías, entre ellas la Standard Oil y la Shell, han enviado geólogos y mantienen observadores que vigilan los resultados de las investigaciones actualmente en marcha.

Estas son las siguientes:

C. I. E. P. S. A., sondeó una estructura en Oliana (Lérida). Es un bonito anticlinal cupuliforme, y se habían puesto grandes esperanzas. Los estudios preparatorios fueron minuciosos y los llevaron a cabo con toda clase de garantías técnicos españoles, siendo revisados luego, a mayor escala, por los mismos geólogos en colaboración con geólogos americanos. El sondeo llevado a cabo con material moderno muy eficaz y personal norteamericano, se emplazó en la culminación geológica del anticlinal, en margas eocenas del luteciense. De manera inesperada y según los datos que se conocen, se han atravesado 2.333 metros de estas margas extraordinariamente homogéneas sin que se notara variación en su textura y disposición. Desde luego, este resultado no se había previsto. Pudiera tratarse de algún accidente tectónico anormal, no reflejado en la superficie, y que ha dado al traste con todas las previsiones obtenidas con el máximo cuidado. Un fenómeno del orden del que describimos y figuramos en la Memoria General del Instituto Geológico y Minero para 1947, con datos obtenidos en nuestra visita a la zona petrolífera francesa de San Marcet (Memoria General, pág. 190), pero con mucha menos suerte, porque allí con una estructura igualmente inesperada y sorprendente se cortó una gran riqueza. Al pa-

recer y según las informaciones que se filtran, a pesar de la reserva habitual en estos casos, los resultados han sido negativos, por lo que la maquinaria ha sido trasladada a Burgo de Osma (Soria). No deja de ser una lástima que estructura tan interesante se dé por vista con un solo sondeo.

La estructura de Burgo de Osma es un anticlinal complejo, con varias culminaciones, oculto en parte bajo el neogeno. El resultado de su investigación traerá consecuencias para una amplia zona.

C. A. M. P. S. A. sondeaba, con pobres elementos, en el Valle del Zamanzas (Burgos), pero allí se han encontrado abundantes indicios, y aún horizontes petrolíferos. Acaba de empezar a funcionar la nueva y modernísima sonda, para iniciar la exploración con gran rapidez y actividad, pues se trata de zona muy prometedora.

Hay en marcha algún otro sondeo, realizado por particulares con pobres medios, de los que no conocemos el detalle.

Las sociedades estatales han adquirido otra u otras sondas análogas, pero que aún no se encuentran en la Península; y por ahora sondea en Chiclana (Cádiz) con una sonda potente, pero anticuada. Este sondeo está aún en sus comienzos, pero parece que ha cortado bolsadas de gas a profundidades someras (no mayores de 150 metros), a gran presión y arrastrando hidrocarburos líquidos.

En definitiva. Hay manifestaciones e indicios, algunos muy importantes (Laredo, Boixols, Maeztu, Zamanzas, Soria, etc.), si bien la mayoría lo son menos, pero en cambio relativamente abundantes y repartidos en un área muy extensa. Sólo hay conjeturas acerca de las formaciones madres. La misteriosa relación con el triás hace sospechar que la mayor parte de las manifestaciones son secundarias y

proviene de él. Otras, como las del Pirineo Oriental, parecen primarias (eoceno). Ahora bien, dentro del triás, la única roca organógena es el muschelkalk, que aunque fosilífero y fétido, es en general poco potente.

No hay lugar a forjar grandes planes ni ilusiones; no es muy probable el que se llegue a encontrar ninguna Venezuela o Persia, aunque ello tampoco fuera absolutamente imposible, pero sí pueden abrigarse muy fundadas esperanzas de encontrar depósitos de hidrocarburos, campos más reducidos, al estilo de los ingleses o alemanes, en la Península, y sólo esta esperanza justifica de por sí sobradamente cuantos sacrificios económicos se hagan y cuantos riesgos se corran. Pero una investigación sistemática, y rápida, requeriría no las dos sondas modernas de que actualmente se dispone en todo el país, sino, por lo menos, 15 a 20, con objeto de que siempre hubiera 12 ó 15 funcionando, capaces de llegar a los 3.000 metros y disponer de alguna capaz de profundizar a 4.000 ó 4.500 metros.

Por otra parte llegan noticias de que en los Estados Unidos de América, donde la técnica de construcción y manejo de sondas alcanza la mayor perfección, se ensayan procedimientos de sondeo, basados en parte en ideas totalmente nuevas, que revolucionan su técnica.

Con la profundidad de un sondeo crecen en progresión geométrica las dificultades técnicas de ejecución, pero aún mucho más rápidamente su costo, que así llega a ser prohibitivo.

Las dificultades que se presentan para rebasar los 4.000 metros de sondeo, grandes en el campo técnico son superadas por el elevadísimo costo. Así es que los sondeos muy profundos son realizados, más bien, con carácter de ensayo.

Precisamente de lo que se trata y lo que parece haber sido alcanzado es de hallar nuevos procedimientos y herramientas que permitan alcanzar los 6.000 metros de profundidad con el mismo costo con que ahora se llega a los 2.000.

Tales procedimientos abrirían, con toda probabilidad, muy optimistas horizontes a una producción española de hidrocarburos líquidos, ya que zonas extensas de nuestra Península, que, como hemos indicado, se supone que contienen petróleo, yacen a grandes profundidades, excesivas por ahora.

La geofísica ha sido utilizada en escala muy limitada en estas investigaciones, en busca de petróleo en España.